

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Ekologie



Bc. Miriam Jandáková

Tvarová plasticita velevruba tupého (*Unio crassus*, *Unionidae*) v závislosti na lokalitě a velikostních proměnných

The shell shape plasticity of Thick Shelled River Mussel (*Unio crassus*, *Unionidae*) depending on locality and size variables

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Karel Douda, Ph.D.

Praha 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 4. 1. 2016

.....
Miriam Jandáková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému školiteli Karlu Doudovi a konzultantovi Adamovi Petruskovi za cenné rady, připomínky, ochotu a trpělivost. Dále bych moc ráda poděkovala Petru Janečkovi a Lukášovi Kratochvílovi za rady ohledně tvarové analýzy a statistického vyhodnocení.

Velmi děkuji partnerovi Martinovi, který o mě pečoval a podporoval mě po celou dobu studia i při psaní práce. Také děkuji rodičům, kteří mi svou nejen finanční podporou umožnili studovat vysokou školu. V neposlední řadě děkuji také Ondřejovi Simonovi za jeho přístup k lidem i práci, je to pro mne velkou inspirací a motivací. Děkuji také Kamile Tiché za připomínky i za psychickou podporu. Děkuji všem přátelům, kteří mi drželi palce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá tvarovou plasticitou druhu *Unio crassus* na 12 lokalitách. V práci bylo použito celkem 1129 obrysů, které byly získány z 260 lastur tím, že se analyzovaly jednotlivé zimní růstové linie. Fourierova eliptická analýza se ukázala jako vhodný nástroj pro hodnocení tvaru lastur mlžů. Využití zimních růstových linií prokázalo velký potenciál pro morfometrické analýzy. Výsledky ukazují, že osy PC1 a PC2 (z analýzy hlavních komponent tvarových koeficientů) jsou závislé na růstu. Vliv alometrie byl proto ošetřen hodnocením reziduálních hodnot získaných pomocí zobecněného lineárního modelu (generalized linear model - GLM). Vhodnou kombinací pro obecné ošetření alometrie u mlžů se jeví použití věku a délky a výšky, současně jako vysvětlujících proměnných v GLM modelu.

Výsledky ukazují signifikantní rozdíly mezi lokalitami ve všech hodnocených parametrech. Dále byla prokázána statisticky významná odlišnost rychlosti růstu mezi lokalitami. Ukazatele rychlosti růstu jsou také korelované s tvarovými proměnnými. Lokality lze rozdělit na dvě skupiny, které se odlišují svou rychlostí růstu (Bertalanffyho růstovou konstantou, délkou ve třetím roce a délkou relativní na věku a lokalitě). Tyto skupiny se liší zhruba o 10 mm mezi průměrnými délkami.

Nejvíce podobné jsou si lokality „Blanice Znosim“ BL2 a „Lukavecký potok“ LUK, které v testech nevyšly ani jednou, jako rozdílné. Lokality „Bečva Hranice náhon“ BH a „Chumava“ CH se shodují v tvarových parametrech a ve většině velikostních proměnných. Liší pouze v délko-výškovém poměru. Uvedené páry lokalit jsou si ze všech faktorů prostředí podobné pouze v parametru BSK_5 a celkovém fosforu. Závěry analýz korelace tvaru a faktorů prostředí nejsou zcela jednoznačné, což je zřejmě zapříčiněno malým počtem hodnocených lokalit.

Klíčová slova: tvarová plasticita, *Unio crassus*, sladkovodní mlži, Fourierova eliptická analýza obrysu, alometrie, zimní růstové linie, Bertalanffyho růstová konstanta

Abstract

This thesis focuses on shell shape plasticity of *Unio crassus* at 12 localities. 1129 shape outlines were used for the purposes of this work. The outlines were gained from 260 individuals in the way of analysing the winter growth lines. The Elliptic Fourier Analysis appeared to be reasonable tool for the bivalves' shells shapes assessment. The winter growth lines' consideration showed great potential for morphometric analyses. The results shows that PC1 and PC2 axes (from principal component analysis of shape coefficients) are growth-dependent. The allometry influence was removed by residual values assessment obtained from generalized linear model (GLM). The age, length and width parameters appears to be favourable combination for general allometry influence removal (by using these parameters as describing variables in GLM model).

The results point to significant differences among localities in all assessed parameters. Furthermore, the significant difference in growth speed was approved. Speed growth indicator correlates with shape variables. The localities can be divided into two groups with different growth speed each (Bertalanffy growth constant, length in the third year and age relative length). These groups differs in about 10 mm in average lengths.

The most similar localities were „Blanice Znosim“ BL2 and „Lukavecký potok“ LUK, that never showed differences in any of performed tests. „Bečva Hranice náhon“ BH and „Chumava“ CH harmonise in shape parameters and majority of size variables. The only difference was noticed in length-height ratio parameter. The described pairs of localities are similar in two environmental factors: BSK₅ and total phosphorus amount. The conclusions from shell shape and environmental factor correlation analyses are not predicative most probably because of small number of assessed localities.

Keywords: shape plasticity, *Unio crassus*, freshwater mussels, Fourier shape elliptic analysis, allometry, winter growth lines, Bertalanffy growth constant.

Obsah

Obsah	7
1 Úvod	9
1.1 Proč se zabývat tvarem mlžů?	10
1.2 Cíle práce a otázky	11
2 Analýza tvaru	13
2.1 Přístupy k analýze tvaru u mlžů	13
2.1.1 Tradiční morfometrie	13
2.1.2 Fourierova eliptická analýza obrysu	14
2.1.3 Geometrická morfometrie s využitím landmarků	15
2.2 Ošetření vlivu alometrie	16
2.3 Využití zimních růstových linií	17
3 Tvar schránky a prostředí	19
4 Modelový druh	21
5 Metodika	23
5.1 Měření a analýza obrysu	23
5.2 Statistické vyhodnocení	25
5.3 Růstová konstanta a rychlost růstu jedince	27
5.4 Lokality	28
5.4.1 Lukavecký potok (LUK)	30
5.4.2 Ohře Hostěnice (OH)	31
5.4.3 Sázava Nespeky (SN)	32
5.4.4 Ohře Radovesice (OHRR)	33
5.4.5 Bystřice Třesovice (BT)	34
5.4.6 Bečva Hranice náhon (BH)	35
5.4.7 Bečva Hovězí náhon (BNH)	36

5.4.8	Bečva Osek náhon Strhanec (STR)	37
5.4.9	Blanice Skryšov (BL1)	38
5.4.10	Blanice Znosim (BL2)	39
5.4.11	Odra Suchdol nad Odrou (OS)	40
5.4.12	Chumava (CH)	41
6	Výsledky	42
6.1	Charakteristika vstupních dat	42
6.1.1	Charakteristika lokalit	42
6.1.2	Vzájemný vztah délky, výšky a délko-výškového poměru	46
6.2	Hodnocení růstu - závislosti velikostních proměnných na věku jedinců	48
6.3	Hodnocení růstu v závislosti na lokalitě	49
6.4	Interpretace proměny tvarových parametrů v závislosti na velikostních proměnných a rychlosti růstu	54
6.4.1	Vztah růstu a tvarových parametrů	60
6.5	Hodnocení tvarové proměny v závislosti na lokalitě	63
6.5.1	Hodnocení tvarové proměny v závislosti na lokalitě a rychlosti růstu jedinců ..	67
6.6	Hodnocení souvislosti tvaru a parametrů lokalit	68
7	Diskuze	74
8	Závěr	83
9	Reference	85
10	Přílohy	99

1 Úvod

Mlži jsou důležitou složkou vodních ekosystémů po celém světě a zejména sladkovodní mlži patří často mezi nejvíce ohrožené živočichy (Wilcove, a další, 2005). Druhy žijící na území České republiky jsou kvůli svým nárokům na jakost vody, dna i skladbu rybí obsádky, považovány za tzv. deštníkové druhy - tedy druhy, jejichž ochrana znamená zachování celého biotopu. Tím biotopem je v případě mlžů povodí nad klíčovým výskytem.

Ekosystémové služby poskytované touto skupinou organismů jsou velmi důležité. Početné populace mlžů pozitivně ovlivňují nejen kvalitu vody (filtrací), ale také substrátu a sami jsou substrátem pro jiné organismy (Jones, a další, 1996; Jones, a další, 1997; Gutiérrez, a další, 2003; Moore, 2006; Zimmerman, a další, 2007; Vaughn 2015)

Sladkovodních mlžů řádu *Unionida* je dnes uznáno cca 840 druhů s největší čeledí *Unionidae* (674 druhů). V minulosti byl počet druhů uváděn jako několikanásobně vyšší z důvodu chybného určení, způsobeného tvarovou plasticitou (Graf, a další, 2007). Tvarová plasticita je projevem schopnosti mlžů adaptovat se na různá prostředí, tolerovat změny chemismu vody a sedimentu (Pigliucci, 2001; Melatunan, a další, 2013). V důsledku činnosti člověka jsou organismy vystaveny velkým změnám prostředí a plasticita se může mnohem více projevovat (Pigliucci, a další, 2006).

Výzkum plasticity mlžů může napomáhat k lepšímu porozumění a efektivnější ochraně ohrožených druhů (více v kapitole 1.1). Zejména velcí sladkovodní mlži jsou živočichové, jejichž životní prostředí je dnes z velké části výrazně negativně ovlivněno člověkem. Na příkladu Evropských druhů z čeledi *Unionidae* to lze názorně popsat. Jejich dřívější výskyty v tocích i stojatých vodách byly daleko rozsáhlejší, než je tomu dnes. Přestože již v roce 1909 Ortmann jako první varoval před poklesem počtu mlžů (Lopes-Lima, a další, 2014), nejzásadnější zásahy do životního prostředí přišly v druhé polovině minulého století. Právě v té době mlžů na celém světě výrazně ubylo a mnoho druhů lokálně, nebo zcela vymřelo (Richter, a další, 1997; Lydeard, a další, 2004; Bogan, 2008). Za tři hlavní ohrožující faktory pro sladkovodní mlže (dle studie pro severoamerické druhy) jsou považovány znečištění z nebudových zdrojů, konkurence nepůvodních druhů, fragmentace toků a destrukce habitatu (Richter, a další, 1997). Jedná se zejména o následky: výrazného znečištění toků po zavedení intenzivního způsobu hospodaření, meliorací, úpravy toků a napřimování.

První komplexní mapování mlžů probíhalo v Evropě od roku 1979 (v rámci The Bern Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats), Česká republika se do stejného projektu pustila až v roce 1997 (Lopes-Lima, a další, 2014). Většina studií zabývajících se skupinou mlžů pochází zejména ze Severní Ameriky, Evropy a z Ruska. Některým místům s největší diverzitou mlžů, jako je Jihovýchodní Asie, Afrika a Jižní Amerika, stále není věnován dostatek výzkumů.

V současné době s možností využití moderních výpočetních technologií jsou morfometrické studie na vzestupu. Konečně je možné celkem jednoduše analyzovat velké množství vzorků metodami geometrické morfometrie, která dovoluje oddělit tvarové změny spojené se změnou velikosti (alometrie) a přitom zachovat informace o plasticitě spojené (Debat, a další, 2003). Těmito metodami je možné zkoumat, jestli určité morfotypy odpovídají konkrétním podmínkám prostředí, což lze využít jako bioindikační ukazatel pro ochranné účely

1.1 Proč se zabývat tvarem mlžů?

Většina druhů na Zemi je poznávána na základě morfologických charakteristik, přestože právě morfologie bývá často silně ovlivněna environmentálními podmínkami, biologickými interakcemi a genotypem (Via, a další, 1995). Morfologie schránky u mlžů je běžně využívána k popisu a určení druhů. Také většina biologických sbírek má k dispozici pouze schránky. Kombinace vysoké tvarové plasticity a výskytu kryptických druhů pak velmi komplikuje správné určování mlžů a může vést k chybným závěrům (Haas, 1940 citováno v Lopes-Lima, a další, 2014; Graf, 2013). Odlišení podobných druhů in situ může být obtížné, zejména pokud určujeme živé jedince u velmi plastických druhů. Například u chráněných druhů není možné provést v terénu určení na základě specifických znaků na zámku lastury, nebo na vnitřní straně lastury, a ani u běžných druhů mlžů není žádoucí, aby byli jedinci usmrcováni. Problém velké plasticity mlžů v minulosti vedl k určení mnoha druhů, přičemž ve skutečnosti se jednalo o morfotypy a pouze 20% z nich bylo samostatnými druhy (Haas, 1940 citováno v Lopes-Lima, a další, 2014; Graf, 2013). Přestože dnes jsou druhy určeny na základě genetické analýzy, v terénu při běžném monitoringu není možné tyto metody využít, a proto je důležité mít o tvarové variabilitě co nejvíce informací.

Tvar je zkoumán nejen pro potřeby správného určování druhové příslušnosti nalezených zvířat při výzkumu v terénu, ale také z dalších důvodů. Jedním z nich je

například snaha porozumět vztahu tvaru mlžů a prostředí (Seed, 1968; Pathy, a další, 1993; Krapivka, a další, 2007; Zieritz, a další, 2009; Zieritz, a další, 2010; Morais, a další, 2013). Velkým přínosem těchto studií, které vedou k lepšímu pochopení interakcí mezi mlži a prostředím, je možnost lépe nastavit ochranná opatření u chráněných nebo rychle ubývajících druhů. Konkrétním poznatkům z této oblasti se věnuje kapitola č. 4.

Velmi často se s porovnáním tvarů setkáváme v paleontologii, kde autoři buď porovnávají více fosilních lokalit mezi sebou, nebo hledají odpověď na to, jak se vyvíjel zkoumaný druh a srovnávají recentní jedince s fosilními schránkami (Eagar, 1978; Ackerman, a další, 1994; Crampton, 1995; Cabral, a další, 2003; Aguirre, 2015; Campbell, 2015). V kombinaci s novými poznatky o vztahu tvaru mlžů s environmentálními podmínkami je možné vyvodit alespoň některé závěry o podmínkách ve zkoumaném historickém období (Peacock, a další, 2008). I když samozřejmě je tato problematika velmi složitá a souvisí také s vývojem druhů.

Dále bývá tvarová analýza využívána ve spojení s výzkumem genetických vlastností (Guarneri, a další, 2014; Inoue, a další, 2014; Gagnon, a další, 2015; Rajaei, a další, 2015). Otázka, na kterou se snaží vědci najít odpověď, je, nakolik jsou tvarové odlišnosti geneticky závislé a na kolik jsou adaptací na konkrétní podmínky (Guarneri, a další, 2014). Kromě toho je často informace o odlišnosti tvarů doplňkem genetického, nebo jiného srovnání různých lokalit (Bogan, 2008; Douda, a další, 2014; Owada, 2015). Důvodů pro zkoumání tvarů a plasticity (nejen u mlžů) je mnoho a toto bádání přináší cenné informace, ať už z hlediska ochrannářského, taxonomického, paleontologického, nebo jiného.

1.2 Cíle práce a otázky

Hlavní cíle této diplomové práce jsou:

- A. *Porovnat tvar lastur na lokalitách na základě parametrů, které se dají z lastury snadno získat.*

Nespornou výhodou pro tvarovou analýzu je možnost získat potřebná data přímo v terénu bez nutnosti usmrcení analyzovaného objektu.

- B. *Najít způsob, jakým dostatečně ošetřit vliv věku nebo velikosti na výsledný tvar.*

Pro naplnění těchto cílů jsem formulovala následující **nulové hypotézy**:

- 1. *Tvar na zkoumaných lokalitách se neliší.*

Předpokládám, že tato hypotéza nebude potvrzena, vzhledem k mnoha studiím, ve kterých je tvar na lokalitách odlišný i přes ošetření vlivu alometrie (Zieritz, a další, 2009; Zieritz, a další, 2010; Morais, a další, 2013; Caill-Milly, a další, 2014; Guarneri, a další, 2014). Očekávám, že po ošetření vlivu velikostních proměnných budou tvarové rozdíly méně patrné.

2. Rychlost růstu na zkoumaných lokalitách se neliší.

V rámci území České republiky byla rozdílná růstová konstanta prokázána na řece Lužnici (Douda, 2007). Tuto hypotézu ověřuji především pro účely navazujících testů.

3. Rychlost růstu nesouvisí s tvarovými vlastnostmi.

Že tvar je výsledkem kumulativního procesu růstu uvádí (Béguinot, 2014), tato myšlenka však byla vyslovena mnohem dříve (Réaumur, 1716 citováno v Béguinot, 2014). Proto předpokládám, že tato hypotéza nebude potvrzena a výsledky ukážou souvislost mezi tvarem a rychlostí růstu.

Kromě hlavních cílů a nulových hypotéz jsem formulovala také **vedlejší cíle:**

1. Vypracovat rešerši se zaměřením na postup při analýzách tvaru u mlžů.

Tato problematika není nikde souhrnně popsána a mezi různými studiemi lze nalézt velkou škálu přístupů k tvarové analýze. Domnívám se, že mnoho autorů nedostatečně při svých analýzách zahrnuje velikostní parametry a zanedbává možnost vlivu alometrie na tvar. Tímto pak vznikají výsledky, které jsou nesprávně interpretovány jako odlišnost ve tvaru, přitom by se mohlo jednat o odlišnost pouze ve věkové či velikostní struktuře vzorků.

2. Částečně objasnit souvislost mezi tvarem a charakteristikou lokality.

Tento cíl se přímo nabízí při tvarových analýzách a stále častěji se na tuto problematiku zaměřují různé studie (Morton, 1969; Newell, 1989; Hornbach, a další, 2010; Melatunan, a další, 2013; Scholz, 2013). V případě této práce ale nejsou data natolik vhodná, aby tento cíl mohl být hlavním cílem práce. Důvodem je zejména nedostatečný počet vhodných lokalit s velkým počtem vzorků. Protože jsou k dispozici poměrně dobré údaje o chemismu vody pro všechny lokality, pokusím se v této práci alespoň naznačit možné souvislosti a využít tato data.

2 Analýza tvaru

Morfometrie se zabývá studiem tvarové variability a její kovariance s dalšími proměnnými. Na porovnání tvarů se aplikují statistické metody. Tvar je v tomto oboru definován jako celková geometrická informace, která je zachována po odstranění vlivu velikosti, rotace a pozice (Kendall, 1977). Tato kapitola popisuje základní úskalí tvarové analýzy mlžů. Popisuje metody, které se nejčastěji využívají, a také rozdílné přístupy autorů k ošetření vlivu alometrie.

2.1 Přístupy k analýze tvaru u mlžů

Jak je popsáno v předchozí kapitole, existuje více důvodů, proč se zabývat tvarem u mlžů. S těmito rozdílnými důvody se také vyskytují rozdílné přístupy k analýze tvaru. Existuje velké množství metod, různé přístupy ke zpracování dat, různé metody interpretace. Většina metod zpracovává dvourozměrné objekty, přestože již dnes existují metody, umožňující pracovat s objekty ve 3D. Vzhledem k velkému rozvoji geometrické morfometrie chybí dostatek zkušeností, aby se dalo rozhodnout, která z mnoha metod je ta nejvhodnější. Pokud se zaměříme na mlže, existují tři nejčastěji používané přístupy: klasická morfometrie, Fourierova eliptická analýza obrysu a geometrická morfometrie založená na landmarcích.

2.1.1 Tradiční morfometrie

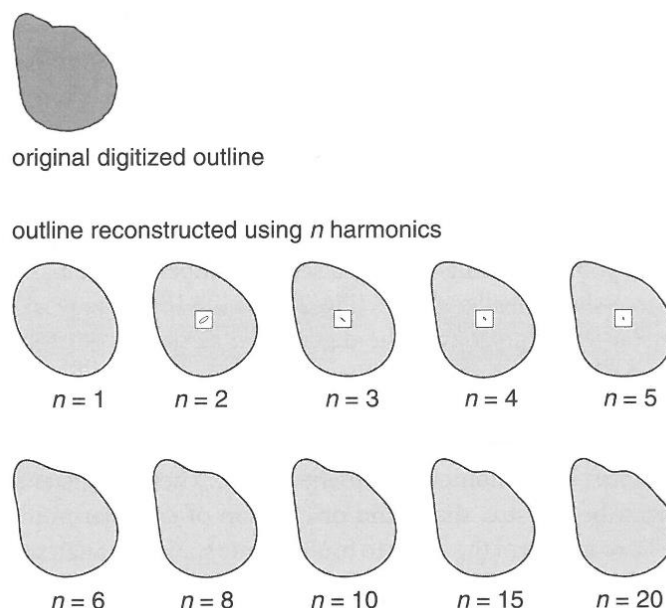
Historicky nejstarší je využívání tradiční morfometrie. Jedná se o metodu, která využívá lineární vzdálenosti, tedy měření délky, výšky, šířky. Často se výsledky měření analyzují v závislosti na odhadovaném věku jedince. Tato metoda je používána i v současných studiích, zejména jako doplněk k jiné výzkumné otázce (Scholz, a další, 2007; Teusch, a další, 2002; Hornbach, a další, 2010; Hendriks, a další, 2012). Výhodou je zejména jednoduchost, protože je možné snadno tyto údaje získávat i na živých jedincích přímo na lokalitě pomocí pravítka nebo posuvného měřítka. Také vyhodnocení těchto dat je jednodušší než u dalších dvou metod. Tato metoda ale přináší i spoustu problémů. Například měřené vzdálenosti mohou být odlišně definované. Pokud se měří například maximální délka objektu, pak této hodnoty mohou dosáhnout různé body, které si

fylogeneticky neodpovídají. Nevýhodou je, že tato metoda nepodává komplexní informace o tvarové různorodosti a mnoho specifických charakteristik nemusí vůbec odhalit (pro různé tvary stále může být stejná maximální délka apod.). Tato metoda dále neumožňuje zpětné vykreslení tvaru.

2.1.2 Fourierova eliptická analýza obrysu

Druhou možností je Fourierova eliptická analýza obrysu (Elliptic Fourier Analysis - EFA). Jedná se o jednu z outlineových metod¹ analýzy tvaru, která využívá k vykreslení křivky obrysu tzv. harmonické proměnné. To jsou související elipsy, zapsané jako množství sinových a kosinových výrazů. Tento popis tvaru se nazývá Fourierova transformace. Každé harmonické proměnné náleží Fourierův koeficient, který vyjadřuje příspěvek dané harmonické proměnné do celkového tvaru zkoumaného objektu. Počet harmonických proměnných se určuje na základě složitosti tvaru tak, aby byly postihnuty hlavní tvarové vlastnosti, ale aby nebyly analyzovány drobné nerovnosti (viz obrázek 1). Pro mlže s jednoduchým a málo členitým obrysem se obvykle využívá 8-14 harmonických proměnných (Zieritz, a další, 2012; Scholz, 2013; Douda, a další, 2014). Ve Fourierově eliptické analýze se tvarová rozdílnost posuzuje vůči referenčnímu (průměrnému) tvaru. Data jsou obvykle standardizována na velikost, rotaci a počáteční bod obrysu. Použitím analýzy hlavních komponent (principal component analysis - PCA) dostáváme hlavní komponenty, které charakterizují určitý trend ve tvaru lastury (prohnutost a protaženost vs. zaoblení, směr špičky lastury, atp.). Časté uplatnění nachází Fourierova eliptická analýza v paleontologii (Crampton, 1995), v entomologii (Monti, a další, 2001), antropologii (Frieß, a další, 2003), při výzkumech rostlin (Yoshioka, a další, 2004), otolitů ryb (Castonguay, 1991; Tracey, 2006), schránek mlžů a plžů a v mnoha dalších odvětvích. Tato metoda je stále hojně používána zejména pro živočichy, u kterých je málo příležitostí nalézt vhodné landmarky pro využití geometrické morfometrie.

¹ Metody zabývající se vnějším tvarem objektů (obrysem) a jeho analýzami.



Obrázek 1: Průběh vykreslení tvaru pomocí různého počtu harmonických proměnných (n). S přibývajícím počtem harmonických proměnných se obrys více přibližuje tvaru vykreslovaného objektu.

Zdroj Crampton (1995).

2.1.3 Geometrická morfometrie s využitím landmarků

Geometrická morfometrie je nejnovější a třetí z nejčastěji používaných metod. Při využití této metody je často potřeba pracovat se strukturami na vnitřní straně lastury, jako jsou zámkové zuby a jizvy po uchycení svalů ke schránce. Na tato místa se umisťují landmarky – přesné homologické body na struktuře, která je ontogeneticky, funkčně nebo evolučně signifikantní (Richtsmeier, a další, 2002). Homologie landmarků může být také čistě geometrická a nemusí mít biologickou podstatu (Neustupa, 2005). Kromě pevných landmarků se u organismů s nedostatkem homologických bodů používají také klouzavé tzv. semilandmarky, většinou po obvodu objektu pro analýzu obrysu. Semilandmarky mohou volně klouzat po úseku vyznačeném dvěma okolními landmarky (Bookstein, 1997). Pozice landmarků je udávána v xy souřadnicích. Každý objekt v analyzovaném souboru je charakterizován konfigurací landmarků. Objekty musí být standardizovány na rotaci. Většinou jsou proto přeloženy přes sebe pomocí Prokrustovské superimpozice² tak, aby mezi homologickými landmarky byla minimální vzdálenost (Rohlf, a další, 1993). Tvarové rozdíly jsou v tomto případě reprezentovány reziduálními hodnotami, které je možné

² Prokrustovská superimpozice upravuje rotaci objektů metodou nejmenších čtverců mezi jednotlivými body.

zobrazit jako vektory. Tyto vektory ukazují, jak se pozice homologických landmarků od sebe liší vzhledem k vypočítanému průměrnému konsenzu (Rohlf, a další, 1993). Tvarové změny je možné zobrazit i pomocí transformačních mřížek. Tato metoda se nazývá Thin-plate spline a matematicky se jedná o interpolační funkce operující se změnami v oblastech mezi landmarky (Zelditch, a další, 2004). Tuto metodu považují někteří autoři (Leyva-Valencia, a další, 2012; Morais, a další, 2013; Inoue, a další, 2014), za nejpřesnější i pro skupinu mlžů, přestože nalézt dostatečné množství landmarků je u těchto živočichů složitější (většinou se používá vnitřní strana lastury, která má členitější strukturu). Také informace o pozici zámkových zubů, nebo jizev na vnitřní straně lastury nejde využít při určování živých jedinců a směrodatnější bývá právě obrys. Tato metoda se jeví jako nepracnější ze všech zmíněných, neboť všechny landmarky je potřeba umisťovat ručně na dobře zachovalé lastury. Hlavním problémem této metody je tedy především definice umístění landmarků, neboť může být těžké najít odpovídající umístění napříč různými druhy.

2.2 Ošetření vlivu alometrie

Alometrie studuje vztah změny dvou proměnných v průběhu růstu. Jinými slovy alometrie se zabývá velikostí a jejím spojením s ostatními proporčními proměnnými. Koncept alometrie poprvé vyslovil Huxley a Tessier (1936). Pokud jsou při výzkumu tvaru použiti jedinci různého stáří a velikosti, může alometrie silně ovlivňovat výsledky. Ošetření alometrie umožňuje ve výzkumech používat širší množství vzorků, protože je možné porovnávat i velikostně rozdílné jedince, kteří by se jinak museli z analýzy vyřadit (Reitz, 1987). O vlivu alometrie vypovídají také známé poznatky o větší odlišnosti starších jedinců. Jinými slovy, že mladí jedinci jsou si napříč lokalitami podobnější než staří (Guarneri, a další, 2014). Poměrně rozsáhlou teoretickou studii o alometrii v biologických výzkumech publikoval Gould (1996).

Zásadní problém většiny studií je nejednotný přístup k ošetření vlivu velikosti/věku na tvar. Pokud autor srovnává dvě, nebo více lokalit, přičemž věková a velikostní struktura vzorků není totožná, měl by vliv tohoto faktu nějak ošetřit při statistické analýze dat, nebo už při samém výběru lastur. V této problematice se ale přístupy vědců neshodují. V některých případech není vliv velikosti, ani výběr vzorků ošetřen vůbec (Scholz, a další, 2007; Costa, a další, 2010; Gordillo, a další, 2011; Márquez, a další, 2011; Leyva-Valencia, a další, 2012; Scholz, 2013; Gagnon, a další, 2015; Rajaei, a další, 2015) a následné porovnávání tvaru dle lokalit tedy může být zavádějící a nesprávně

interpretováno jako tvarová odlišnost lokalit, přičemž se jedná pouze o odlišnost věkové struktury vzorků (nebo lokalit). V jiném případě autoři pro analýzu zvolí pouze určitou věkovou nebo velikostí kategorii lastur, která je shodná pro obě lokality (Watanabe, a další, 2010; Melatunan, a další, 2013; Morais, a další, 2013; Guarneri, a další, 2014; Caill-Milly, a další, 2014; Rajaei, a další, 2014). Otázkou v tomto případě zůstává, zda je toto opatření dostatečné, pokud je na lokalitách odlišná rychlost růstu. Případně jak široké velikostní rozmezí je dostatečné pro ošetření vlivu velikosti. Toto se bude jistě velmi lišit také podle zvoleného modelového druhu.

Další autoři, kteří vliv velikosti berou v úvahu, sice vlastnosti vstupního vzorku nijak neomezuji, ale s odlišností velikosti, věku nebo rychlosti růstu na lokalitách pracují při interpretaci dat (Innes, a další, 1999; Olabarria, a další, 2004; Tracey, a další, 2006; Zieritz, a další, 2009; Preston, a další, 2010). Často to ale znamená, že nemohou konstatovat nic víc, než že nalezená odlišnost je způsobená vlivem velikosti a na samotnou výzkumnou otázku již odpovědět nedokáží. Dále existuje mnoho článků, kde autoři k problematice přistupují individuálně. Mezi těmito přístupy se často vyskytuje předběžné testování vzorků na vliv velikosti (Ramajo, 2013), případně autoři vycházejí z dřívějšího výzkumu na lokalitě, který potvrdil, že vliv velikosti je v daném případě zanedbatelný (Zieritz, a další, 2010; Zieritz, a další, 2012). Další využívanou variantou je výpočet velikosti centroidu³, která je následně při statistických testech použita jako kovariáta, nebo jako nezávislá proměnná (Costa, a další, 2008; Minton, a další, 2008).

2.3 Využití zimních růstových linií

Mlž má možnost rychlost růstu přímo kontrolovat, na rozdíl od výsledného tvaru lastury (Béguinot, 2014), což otázku rozdílného růstu na lokalitách činí velmi zásadní. Má se za to, že rychlost růstu následně ovlivňuje tvar schránky, respektive že tvar je výsledkem kumulativního růstového procesu (Réaumur, 1716 citováno v Béguinot 2014; Béguinot, 2014). V některých studiích je využíváno měření délky zimních růstových linií pro určení rychlosti růstu, nebo je růst sledován na jedincích průběžně (Anwar, 1990; Anthony, 2001). Existuje několik studií, které se zabývají tím, za jakých okolností vzniká černá linie obrysu na lastuře a zda je možné tyto linie považovat za ukazatel věku (Negus, 1966;

³ Velikost centroidu je druhá mocnina ze sumy čtverců vzdáleností každého bodu na obrysu (landmarku) od těžiště.

Neves, 1988). Využití růstových linií pro analýzu obrysu je velmi specifické a doposud jsem tuto metodu nezaznamenala v žádné publikaci. Jedná se o metodu podstatně pracnější než klasické zpracování fotografií či skenovaných lastur pro Fourierovu eliptickou analýzu nebo geometrickou morfometrii s landmarky. Vzhledem k tomu, že lastury jsou barevně nestejnorodé a často se jednotlivé zimní linie na jedné straně setkávají, je nutné všechny obrysy odečítat manuálně z fotografií, dle zkušenosti s reálnými lasturami. Metoda je ale zároveň unikátní, neboť umožňuje sledovat přímo vývoj tvaru na jednotlivých lokalitách. Po odstranění vlivu jedince (aby nedocházelo k pseudoreplikacím) lze využitím zimních růstových linií rozšířit datovou základnu při stejném počtu vzorků. Díky této metodě je také možné porovnávat tvar jedinců ve stejném věku, přestože jedinci, jejichž lastury byly použity, byli různě staří. Tato metoda je pro své pozitivní přínosy dále využívána v této diplomové práci.

3 Tvar schránky a prostředí

Již větší množství studií se zabývalo propojením tvaru schránky mlžů s environmentálními podmínkami, ve kterých mlži žijí. Protože působení vnějších podmínek je komplexní soubor určitých okolností, jednotlivé studie se zaměřují většinou na jeden nebo dva vlivy, jako je například teplota vody, salinita, vliv predace, obsah určitých sloučenin ve vodě, typ sedimentu, činnost vln, vliv konkurence a tak podobně. Některé výzkumy se zaměřují na změnu tvaru v podélném profilu (Hornbach, a další, 2010; Morais, a další, 2013; Scholz, 2013; Inoue, a další, 2014) a ověřují platnost tzv. Ortmannova pravidla.

Vnitrodruhová variabilita mlžů byla rozpoznána na začátku 20. století. Ortmann v roce 1920 v návaznosti na tento objev popsal “Law of Stream Distribution”, dle kterého se mění morfologie schránky v podélném profilu řeky (Ortmann, 1920). Mlži v horním toku řeky mají schránky spíše protáhlé, na dolním toku má ten samý druh lastury více “obézní”. Existují studie, u kterých se platnost tohoto pravidla nepotvrdila (Morais, a další, 2013; Inoue, a další, 2014). Jiné studie pravidlo potvrzují (Eagar, 1978; Scholz, 2013). Je tedy zřejmé, že nejde o obecně platné pravidlo, ale záleží na tom, čím je tok či druh specifický.

Další předpokládaným faktorem, který ovlivňuje tvar a v tomto případě také povrch, je jakost substrátu ve kterém jedinci žijí. Tento parametr přináší doplňující informace ke studiím týkajících se Ortmannova pravidla. V jemném substrátu v dolní části toku mají mlži schránky hrubé s výrůstky, což jim pomáhá se v substrátu lépe udržet. Naproti tomu v horní části toku s dynamickými podmínkami a hrubým substrátem měli jedinci lastury hladké, aby se mohli snáze opětovně zahrabat, nebo jinak dynamicky reagovat na časté změny (Hornbach, a další, 2010).

Vliv přítomnosti predátora vyvolává u mnoha druhů (nejen u mlžů) reakci, jejímž výsledkem je změna vlastností schránky. Někdy se jedná o posílení schránky, například u surmovkovitých (*Buccinidae*) (Palmer, 1990; Sepúlveda, a další, 2012), jindy o rychlejší růst u sladkovodních plžů (Dalziel, a další, 2005). Další známou reakcí na přítomnost predátora je protažení spin u vírníků (*Rotifera*) nebo perlooček (*Cladocera*) (Stemberger, a další, 1987). U slávek je známou reakcí na přítomnost predátora posílení bysových vláken (Reimer, a další, 1997; Leonard, a další, 1999). Tyto reakce lze předpokládat v prostředí, kde se predátor vyskytuje trvale, dlouhodobě a organismy mají možnost jeho přítomnost zaznamenat (například pomocí chemoreceptorů). Těžko lze očekávat, že například

velevrub nebo škeble mají šanci nějakým způsobem rychle reagovat změnou tvaru, nebo jiných vlastností schránky na výskyt ondatry a podobných predátorů.

Výzkumem genetické variability se zjistilo, že u mlžů je častá reprodukční izolace jednotlivých populací, která může souviset také s tvarovou odlišností (Zieritz, a další, 2010; Douda, a další, 2014). Zároveň je ale jisté, že i u málo geneticky odlišných populací se mohou vyskytovat významné tvarové rozdíly (Sousa, a další, 2007; Guarneri, a další, 2014). Zdá se, že z dostupných studií prozatím nelze udělat jednoznačné závěry o tom, na kolik je tvar schránky závislý na genetické výbavě.

Teplota je jeden z limitních faktorů výskytu mlžů. Samozřejmě různé druhy mají jiné teplotní optimum a jiné limitní hodnoty. Tato variabilita je velmi široká, například *Dreissena polymorpha* může přežít i 40°C, ale ideální je pro ni 20-25° (Newell, 1989). Přesto se vyskytuje v Severní Americe i v severní Evropě (Kotta, 1998; Orlova, 2004). V několika studiích se uvádí, že přiměřená vyšší teplota pozitivně ovlivňuje růst juvenilních jedinců (Kimura, a další, 1996; Cataldo, a další, 2005). Rychlost růstu juvenilů se zrychluje do bodu optima a následně se opět zpomaluje (Pechenik, 1987). Kromě vlivu teploty na růst má také vliv na tvarovou plasticitu (Rosenberg, 2000).

Existuje řada dalších zkoumaných vlivů a velké množství publikací, které není možné pojmut v rámci této diplomové práce. Většina studií tohoto typu se provádí na mořských druzích.

4 Modelový druh

Růst jedinců rodu *Unio* je silně ovlivněn prostředím (Zieritz, a další, 2009; Hornbach, a další, 2010; Zieritz, a další, 2010; Morais, a další, 2013). To je jedním z důvodů, proč byl pro analýzu obrysu v rámci této diplomové práce vybráný velevrub tupý (*Unio crassus*, Philipson 1788). Také byl k dispozici dostatečný počet vzorků, které bylo možné zpracovat. Dalším důvodem je, že variabilita tohoto druhu u nás byla již delší dobu předpokládána, ale tento předpoklad dosud nebyl ověřen.

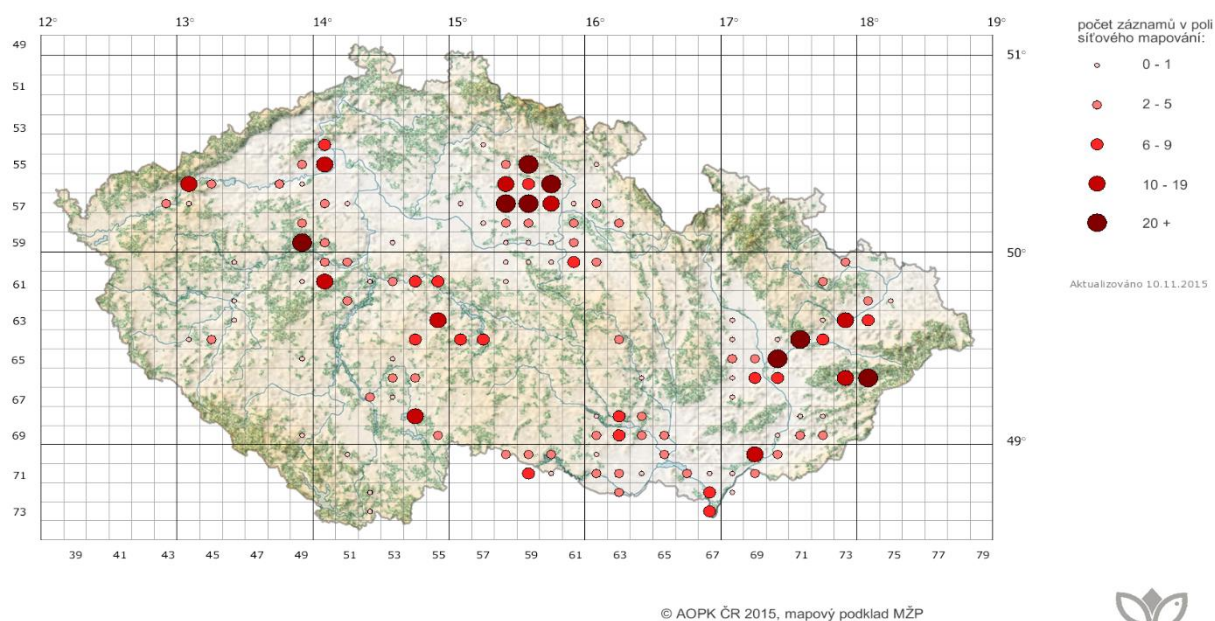
Velevrub tupý je velký sladkovodní mlž, který se v minulosti vyskytoval hojně na téměř celém území České republiky (Douda, a další, 2009). Dnes je však zařazen v rámci zákonné ochrany mezi silně ohrožené druhy a chráněn je i v dalších státech Evropské unie i v rámci systému Natura 2000 (LIFE-Natur, 2002; Hus, a další, 2006; Zettler, a další, 2007). Obdobnou situaci jako v ČR, můžeme pozorovat také v okolních státech. Populace v Polsku jsou roztroušené a izolované (Hus, a další, 2006) a v Německu je několik velmi početných lokalit s juvenilními jedinci, ale také lokality, na kterých je předpovězeno brzké vyhynutí, protože zde již k rozmnožování nedochází (Zettler, a další, 2007).

Význam výzkumu druhu *Unio crassus* je především v tom, že svým úzkým propojením s rybími hostiteli a náročností na jakost vody je bioindikátorem, vypovídajícím o stavu celého povodí (Havlik, a další, 1987). *Unio* filtruje potravu z proudící vody a pro úspěšnou reprodukci potřebuje podobně jako perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*) dno, které není zaneseno jemným substrátem a je dobře saturováno kyslíkem. Výskyt, rozmnožování a přirozené rozšiřování druhu je závislé na rybí obsádce a prostupnosti toků pro migrující ryby. Nezbytný je také dostatek vhodných lokalit pro přežití juvenilních jedinců. Nejvhodnějšími hostiteli pro *Unio crassus* je střevle potoční (*Phoxinus phoxinus*) a jelec tloušť (*Leuciscus cephalus*), u ostatních rybích druhů je pak mnohem vyšší úmrtnost glochidií i juvenilních jedinců (Douda, a další, 2012; Taeubert, a další, 2012). Byly pozorovány rozdíly v kompatibilitě s hostitelem u různých populací, které mohou být zapříčiněny reprodukční izolací (Douda, a další, 2014).

V současné době je pro podporu populací velevruba tupého v ČR vyhlášeno 13 Evropsky významných lokalit (EVL) (Natura 2000). Druh je v současné době nejvíce ohrožen nevhodnou jakostí vody, četnými migračními bariérami, manipulací s vodní hladinou (rychlé kolísání), odstraňováním sedimentu, predací nepůvodních druhů (mýval,

ondatra) a nevhodnou rybí obsádkou toků (Bogan, 1993; Pérez-Quintero, 2007; Zettler, a další, 2007; AOPK citováno 2015).

Výškové optimum tohoto druhu je 150-300 m. (max. 610 m n. m.) a svým výskytem navazuje po proudu toku na perlorodku říční.



Obrázek 2: Mapa výskytu velevruba tupého (*Unio crassus*, Philipson 1788) v České republice. Velikost značky vyjadřuje počet záznamů v daném mapovacím čtverci. Zdroj: AOPK ČR

5 Metodika

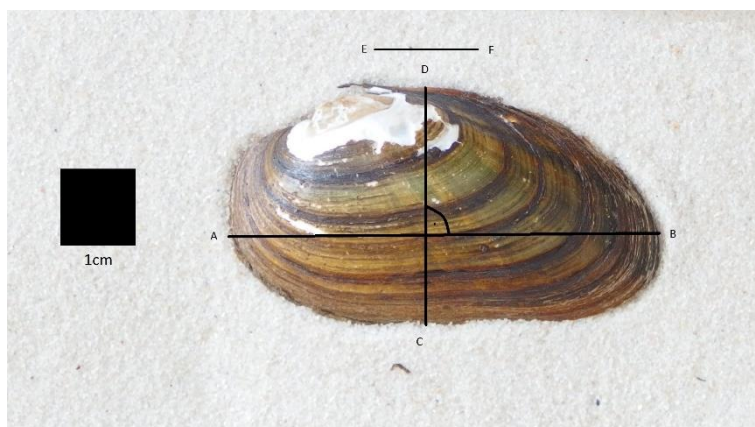
K analýze tvaru byly využity lastury sesbírané v letech 2003 až 2013 v rámci běžného monitoringu známých lokalit (sběr provedl Beran L. a Douda K.). Lokality byly vybrány náhodně a rozhodujícím faktorem byl dostatek zachovalých schránek, nikoliv tvarové předpoklady. Lastury byly nejprve vytrženy, protože často jeví známky predace (pravděpodobně ondatrou pižmovou). Dále bylo nutné rozdělené lastury spárovat, aby nedošlo k duplikaci některých obrysů. Vybírány byly levé lastury, které byly co nejlépe zachovány, bez koroze zámku a olámaných okrajů. Pokud nebyla k dispozici levá část schránky, byla výjimečně použita pravá a fotografie byla zrcadlově obrácena při další úpravě v grafickém programu. Před fotografováním byly schránky očištěny jemným kartáčkem a osušeny. Celkem bylo k dispozici 700 lastur z 16 lokalit, ze kterých bylo vybráno 12 lokalit a 260 lastur pro analýzu tvaru. Z každé lastury bylo odečteno 2 až 8 obrysů. Tohoto kroku bylo využito proto, že umožňuje z jedné lastury získat mnohem více informací. Nevyhovující jedinci byli vyřazeni zejména kvůli nízkému věku, poškození predací, korozi a nedostatku vhodných lastur pro zařazení celé lokality do hodnocení.

Očištěné lastury byly fotografovány v obdélníkové nádobě s bílým jemným akvariálním pískem a měřítkem pomocí fotoaparátu se stativem. Sklon lastury byl upravován tak, aby každá jednotlivá růstová linie byla zachycena v rovině a aby její tvar nebyl zkreslený. Potřebná část lastury se při polohování zanořila do písku. Světlá barva písku poskytla dostatečný kontrast. Z fotografií byly následně manuálně vytvářeny konkrétní obrysy s měřítkem v programu Corel Draw X6. Celkově bylo připraveno 1129 obrysů pro tvarovou analýzu v programu Shape 1.3 (Iwata 2002).

5.1 Měření a analýza obrysu

Pro každou lasturu bylo vyhotoveno několik fotografií a z těch byly manuálně vytvořeny jednotlivé obrysy. Přestože lastury byly i starší než osm let, osmý rok byl zvolený jako poslední analyzovaný, zejména proto, že u starých lastur nebylo možné další jednotlivé zimní linie dostatečně spolehlivě odlišit. Zároveň u několika velmi starých lastur byly korodovány zimní linie z druhé roku, to znamená, že obrys pro druhý rok u těchto lastur chybí (to se týká zejména lokality BL1). Pro každou zimní linii (obrys) byly měřeny tradiční morfometrické údaje, délka (AB) a výška (CD). Pro finální velikosti lastur

byla měřena šířka (EF) (Zieritz, a další, 2009) a tloušťka (T) v místech, kde je lastura nejmnocnější (viz obrázky 3.1 a 3.2). V dalších analýzách se pracuje jen s délkou a výškou, protože šířka a tloušťka není k dispozici pro jednotlivé obrysy, ale jen pro finální velikost lastury.



Obrázek 3.1: Ukázka měření tradičních morfometrických údajů na jedné z analyzovaných lastur. Přímkami spojené body jsou délka AB, výška CD, šířka EF. Přiloženo je také měřítko.



Obrázek 3.1: Ukázka fotografie vnitřní strany lastury s vyznačeným místem měření tloušťky.

Obrysy byly zpracovány v balíčku programů Shape 1.3 (Iwata, a další, 2002), kde pomocí programu “ChainCoder“ byl vykreslen obrys, který byl následně numericky kódován jako chain-code s informací o tvaru i měřítku. Chain-code byl poté konvertován v programu “Chc2Nef” do normalizovaných Fourierových deskriptorů dle počtu zvolených

harmonických proměnných. Pro vykreslení elipsy obrysu bylo v této práci použito 10 harmonických funkcí. Elipsy jsou standardizovány na:

- velikost - pomocí měřítka,
- polohu (rotaci) - pomocí první harmonické funkce,
- počáteční bod elipsy - což je bod na obrysu lastury, který protíná osa délky první harmonické (viz příloha 2).

S koeficienty jednotlivých obrysů je v rámci programu Shape “PrinComp” provedena analýza hlavních komponent (PCA). Hlavní komponenty jsou nekorelované proměnné, které jsou lineární transformací původních znaků. Jejich hlavní charakteristikou je rozptyl a jsou seřazeny dle důležitosti (rozptylu). Nejvíce informací nese první komponenta. V případě této práce bylo zvoleno šest PC komponent pro každý obrys. Nejvýznamnější první tři osy (PC1, PC2 a PC3) jsou dále zpracovány pomocí statistického hodnocení. Každá osa popisuje určitou tvarovou vlastnost (viz obrázek 18 v kapitole 6.4).

5.2 Statistické vyhodnocení

Postup statistického hodnocení byl rozdělen do čtyř následujících kroků:

1. hodnocení růstu - závislosti velikostních proměnných (*délka, výška, délko-výškový poměr, plocha*) na *věku* jedinců
2. hodnocení proměny tvarových parametrů (*PC1, PC2, PC3*) v závislosti na velikostních proměnných
3. hodnocení růstu (bod č. 1) v závislosti na lokalitě
4. hodnocení tvarové proměny (bod č. 2) v závislosti na lokalitě

Vzhledem k tomu, že data pro různé lokality jsou velmi odlišná, bylo potřeba najít metody, kterými by se ošetřilo působení různých vlivů na výsledné hodnoty porovnávající tvarovou odlišnost lokalit. V první řadě bylo důležité vyrovnat se s tím, že pro každé lokality byl jiný počet jedinců (9 až 42) a rozdílné stáří lastur také ovlivnilo počet pseudoreplikací pro jednotlivé lokality. Tato úloha byla vyřešena vážením hodnot. Každý obrys měl hodnotu váženou počtem obrysů, které patří k jedné lastuře. Tím bylo docíleno stejné váhy všech lastur (260), bez ohledu na počet obrysů (pseudoreplikací). Pro odstranění vlivu rozdílného počtu lastur na lokalitě, hodnoty byly vážené také podle této skutečnosti. Všechny lokality tak mají stejnou váhu. Pro správný výpočet směrodatné

odchyly reziduí, bylo potřeba všechny váhy ještě normovat. To bylo provedeno vydělením celkového počtu obrysů (1129) sumou podílů vah.

Při hodnocení je zásadní z výsledků odbourat vliv alometrie. To je ošetřeno testováním rozdílnosti reziduí jednotlivých lokalit. Tato rezidua jsou získána GLM (generalized linear model) a celý proces je níže vysvětlen. Maximum věrohodnostní funkce se hledá numericky metodou iteračně vážených nejmenších čtverců v GLM (generalized linear model) (Mathworks1, citováno 2015).

Tento model zohledňuje korelace i interakce a předpokládá, že distribuce hodnot závislé proměnné (Y) je z exponenciální rodiny a tedy že rozdělení pravděpodobností je normální, binomické, Poissonovo, gamma apod. Průměr distribuce (μ) závisí na nezávislé proměnné (X) následujícím způsobem:

$$E(Y) = \mu = g^{-1}(X\beta),$$

kde

$E(Y)$ je předpokládaná hodnota Y ,

$X\beta$ je lineární prediktor, lineární kombinace neznámých parametrů β ,

g je příslušná funkce (v našem případě je buď lineární, nebo se jedná o druhou či třetí odmocninu).

V tomto modelu je rozptyl funkcí střední hodnoty. β je koeficient vyjadřující vliv jednotlivých vysvětlujících proměnných na modelovanou veličinu a jejichž hodnoty hledáme. Při výpočtu jde o nalezení nejvěrohodnějšího odhadu β = hledání maxima věrohodnostní funkce L (*pravděpodobnost*), respektive jejího logaritmu (*logpravděpodobnost*), vůči parametrům β (Madsen, a další, 2010).

Jako vysvětlující proměnné (osy v GLM) bylo v této práci použito 5 parametrů: délka, výška, plocha, věk a délko-výškový poměr. Pro každou tvarovou proměnnou byly vypočítány průměrné hodnoty, které byly aproximovány pomocí regresní křivky. Od této křivky byla vypočítána rezidua (vše v GLM modelu). Po získání reziduí z GLM následovalo testování jejich odlišnosti dle lokalit. Protože medián se v případě těchto dat významně neliší od průměru, bylo testování provedeno analýzou rozptylu (ANOVA). Následné pravděpodobnostní hodnoty byly získány pomocí multiple comparison testu, který aplikuje t-test na každý z párů lokalit (Mathworks2, citováno 2015). Pro testování odlišnosti komponent PC1 a PC2 na jednotlivých lokalitách byly použity jako závislostní proměnné všechny velikostní atributy zároveň. Protože tato kombinace poskytla největší

míru vysvětlení. Komponenta PC3 se ukázala být nezávislá na velikostních parametrech a proto byla testována bez dalších závislostních proměnných. Stejně analýzy byly použity pro obrysy z třetího roku. Příslušná délka obrysu ze třetího roku života lastury v této práci slouží jako ukazatel rychlosti růstu jedince (jak je uvedeno v kapitole 5.3).

Všechny testy mají 5% hladinu významnosti. Většina analýz byla provedena v programu MatLab 2014b a některé také v programu R 3.2.3.

5.3 Růstová konstanta a rychlost růstu jedince

Pro potřeby ověření či vyvrácení hypotézy číslo tři (viz kapitola 1.2) bylo potřeba určit rychlost růstu pro každého jedince a pro každou lokalitu zvlášť. K určení rychlosti růstu na lokalitách byl využitý výpočet Bertalanffyho růstové konstanty. Stejný postup výpočtu rychlosti růstu použili Doua (2007) a Zieritz a Aldridge (2009).

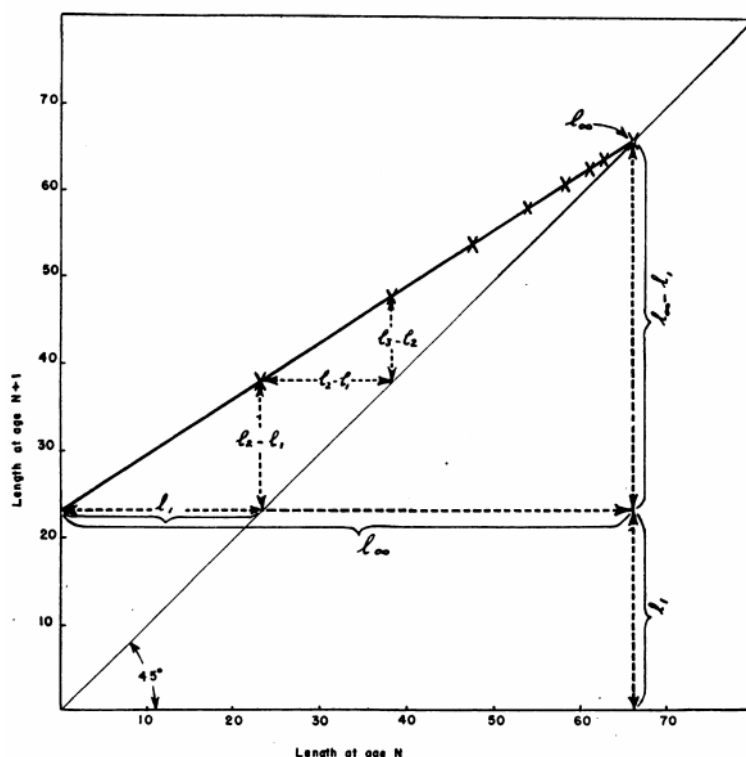
Naměřené délky všech zimních linií (obrysů) z každé lokality zvlášť, byly použity k vytvoření "Ford-Walford Plot" (Walford, 1946) vynesáním jednotlivých délek v roce $t + 1$ proti délkám stejných jednotlivců v roce t . Rovnice regresní přímky procházející body ($y = a + bx$) byla použita k výpočtu růstové konstanty k a asymptotické délky $l(as.)$.

Teoretická konečná délka jednotlivé schránky (asymptotická délka) je definována takto:

$$l(as.) = \frac{a}{1-b},$$

Bertalanffyho růstová konstanta – informace o tom, jak rychle jedinec dosáhne asymptotické délky následujícím vztahem:

$$k = -\ln b.$$



Obrázek 4: Schéma "Ford-Walford Plot". Na ose x je délka v roce t , na ose y je délka v roce $t+1$. Sklon regresní přímky určuje Bertalanffyho růstovou konstantu. Zdroj Walford (1946).

Jako charakteristika rychlosti růstu jedince nebyla použita Bertalanffyho růstová konstanta z důvodu malého počtu bodů, od kterých by se odvozovala regresní křivka. Místo toho byla zvolena délka v třetím roce života, která spadá do úvodní strmé části růstové křivky. Třetí zimní délka tedy reprezentuje stav jedince v období s nejrychlejším růstem.

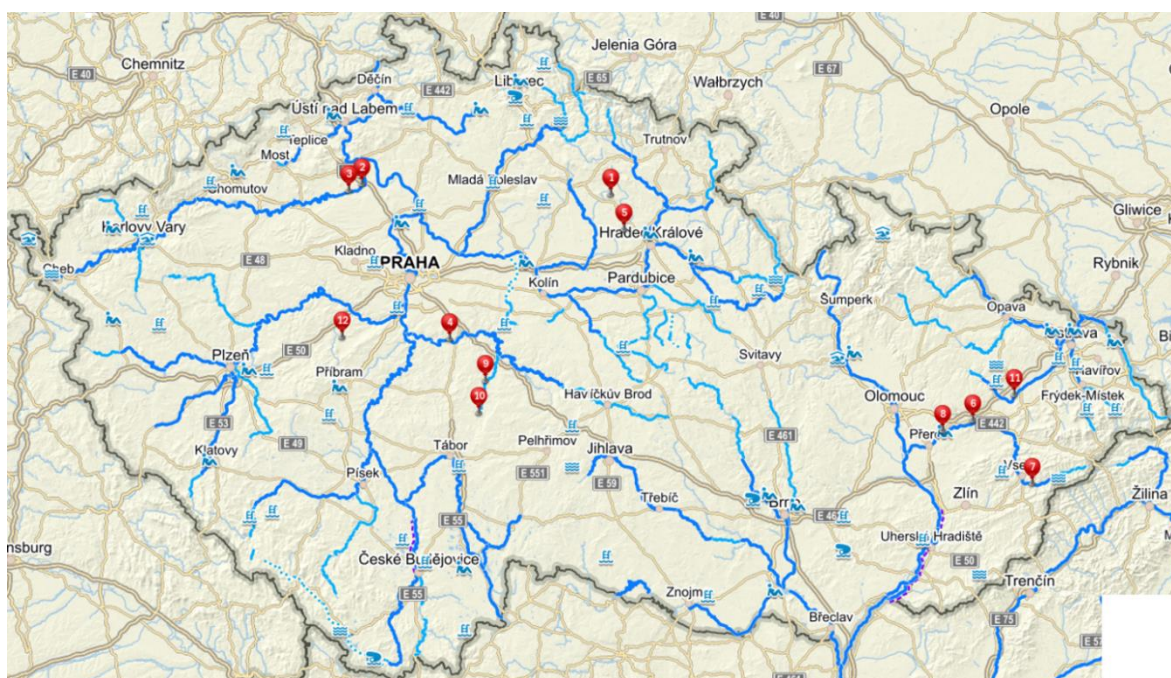
5.4 Lokality

Na následujících stránkách je přehled a stručná charakteristika 12 lokalit (viz obrázek 5), ze kterých pocházejí analyzované lastury. Ke každé lokalitě byla získána následující data:

- teplota vody ($^{\circ}\text{C}$) - *teplota průměr, teplota maximum*,
- hodnota pH – *pH průměr, pH maximum*,
- množství celkového fosforu (mg/l) – *Pcelk průměr, Pcelk maximum*.,
- množství dusičnanového dusíku (mg/l) – *N-NO₃ průměr, N-NO₃ maximum*,
- biologická spotřeba kyslíku za 5 dní (mg/l) – *BSK₅ průměr, BSK₅ maximum*,

- vodivost (nepřímý ukazatel obsahu iontů) (mS/m) – *konduktivita průměr, konduktivita maximum*,
- nejbližší rybník v povodí proti proudu toku (m) – *vzdálenost od rybníka*,
- *nadmořská výška* (m).

Přehledová tabulka jakosti vody na všech lokalitách je k nahlédnutí v příloze této práce (příloha 3). Všechna data ohledně jakosti vody byla získána z databáze Českého hydrometeorologického ústavu IS ARROW a další data byla získána z mapových podkladů (www.mapy.cz). Vybrané odběrové profily se nacházejí vždy nejbližší lokalitě s lasturami proti nebo po proudu řeky (ne však dál než 4,5 říčních kilometrů). Průměrné hodnoty a extrémní hodnoty chemických parametrů k jednotlivým lokalitám jsou uvedeny u každé lokality v přehledové tabulce (tabulky 1 až 12). U popisu každé lokality je přiložena letecká fotografie lokality a blízkého okolí (obrázky 6 až 17).



Obrázek 5: Mapa rozložení lokalit. 1 Bystrice, 2 Ohře Hostěnice, 3 Ohře Radovesice, 4 Sázava Nespeky, 5 Lukavecký potok, 6 Bečva náhon Hranice, 7 Bečva Náhoh Hovězí, 8 Bečva Osek, 9 Blanice Znosim, 10 Blanice Skrýšov, 11 Odry, 12 Chumava. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

5.4.1 Lukavecký potok (LUK)

Sběr lastur proběhl 3. 6. 2008 nedaleko obce Šárovčova Lhota v areálu přírodní památky Lukavecký potok, kde je druh *Unio crassus* předmětem ochrany. Jedná se o drobný potok v povodí horního a středního Labe, jehož koryto má v současnosti přirozený charakter s jílovo-bahnitým dnem. Dříve byl však téměř celý tok regulován. Tok protéká bezlesou zemědělskou krajinou a nachází se zde početná populace střevle potoční (*Phoxinus phoxinus*) (Natura 2000). Tato ryba je vhodný hostitel pro glochidie druhu *Unio crassus* (Douda, a další, 2012).

LUK	BSK5 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/l	pH	teplota (°C)
minimum	1,30	1,40	0,03	47,18	7,58	3,1
průměr	2,53	2,64	0,12	62,42	8,10	9,5
medián	1,75	2,15	0,09	62,85	7,97	9,1
maximum	8,40	7,10	0,42	95,41	9,20	17,1

Tabulka 1: Přehled hodnot chemických parametrů na lokalitě „Lukavecký potok“ z období leden 2007 až prosinec 2008. Zdroj dat: IS AROW.

Parametry vypovídající o znečištění vody (BSK_5 , P_{celk} , NO_3), nabývají v porovnání s ostatními lokalitami průměrných anebo nižších hodnot. *Konduktivita* je v porovnání s ostatními lokalitami spíše vyšší (viz kapitola 6.1).



Obrázek 6: Letecká fotografie lokality „Lukavecký potok“ a okolí. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

5.4.2 Ohře Hostěnice (OH)

Dne 5. 5. 2011 byly odebrány vzorky z lokality „Ohře Hostěnice“. Častý výskyt lastur, jevících známky po predaci ondatrou pižmovou potvrzuje výskyt početné populace druhu *Unio crassus*.

Lokalita je součástí EVL Ohře a nachází se na území Ústeckého kraje. Řeka většinou protéká zemědělskou krajinou, pouze místy se podél břehů zachovaly fragmenty tvrdých i měkkých lužních lesů. Řeka je většinou neregulovaná, s písčinami, štěrkovými náplavy a meandry, místy se oddělují postranní nebo slepá ramena (Beran, 2013).

Pro tuto lokalitu jsou dostupné výsledky rozborů vody od r. 1990 do r. 2007 (viz tabulka 2).

OH	BSK5 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/m	pH	teplota (°C)
minimum	0,30	1,15	0,02	31,40	7,10	0,0
průměr	2,09	2,77	0,11	45,91	7,72	10,4
medián	1,90	2,70	0,09	45,00	7,70	10,0
maximum	9,70	5,00	0,42	72,50	8,70	22,6

Tabulka 2: Přehled hodnot chemických parametrů na lokalitě „Ohře Hostěnice“ z období leden 1990 až prosinec 2007 (odběrový profil Doksany). Zdroj dat IS AROW.



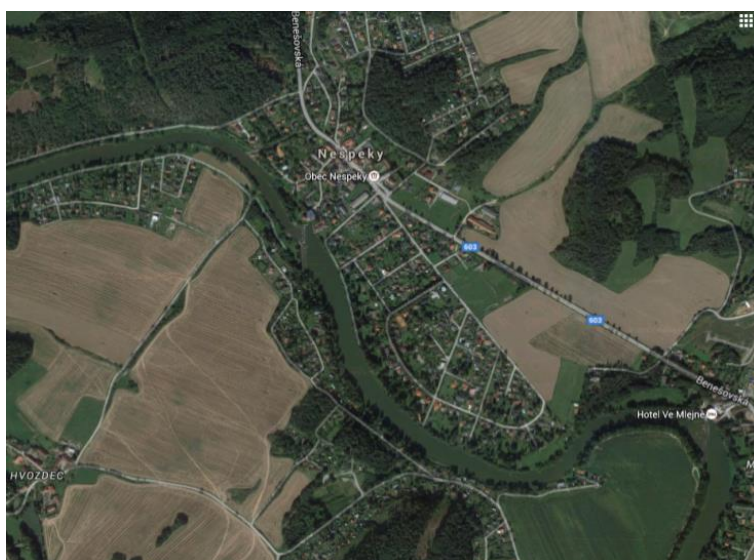
Obrázek 7: Letecká fotografie lokality „Ohře Hostěnice“ a okolí. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

5.4.3 Sázava Nespeky (SN)

Lastury z lokality „Sázava Nespeky“ byly sesbírány 30. 7. 2010. Jedná se o dolní tok Sázavy. Místo, odkud pocházejí lastury je součástí EVL Dolní Sázava, jedné z nejrozsáhlejších lokalit *Unio crassus* v ČR. Spolu s velevrubem tupým obývá lokalitu také početná populace hořavky duhové (*Rhodeus amarus*) a další vzácní živočichové, jako například škeble plochá (*Pseudanodonta complanata*), a okružanka říční (*Sphaerium rivicola*). Koryto řeky je meandrující a v některých částech je spád toku vyšší a vyskytují se zde peřejnaté úseky, které se střídají s hlubšími úseky s nižšími rychlostmi toku. V dolní části řeky se vyskytuje velké množství jezů. Tok protéká bohatě osídlenou a intenzivně zemědělsky využívanou krajinou s rozvinutým průmyslem (AOPK1, citováno 2015). Průměrné hodnoty vybraných sledovaných parametrů kvality povrchových odpovídají většinou II. až III. třídě jakosti vod (EKOBAU, 2006). Maxima hodnot *P celk*, *pH* a *N-NO3* jsou nejvyšší ve srovnání s ostatními lokalitami (viz tabulka 3 a kapitola 6.1).

SN	BSK5 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/m	pH	teplota (°C)
minimum	0,70	0,45	0,07	21,60	6,66	0,0
průměr	4,25	5,91	0,26	37,18	7,94	10,0
medián	3,70	5,59	0,21	36,60	7,81	9,5
maximum	13,50	20,00	1,20	89,30	9,90	24,7

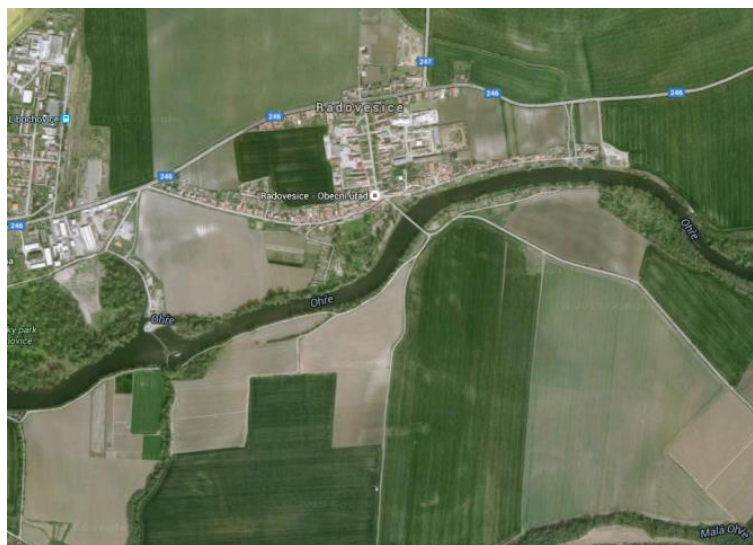
Tabulka 3: Přehled hodnot chemických parametrů na lokalitě „Sázava Nespeky“ z období leden 1990 až prosinec 2008. Zdroj dat IS AROW.



Obrázek 8: Letecká fotografie lokality „Sázava Nespeky“ a okolí. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

5.4.4 Ohře Radovesice (OHRR)

Na lokalitě „Ohře Radovesice“ proběhl sběr lastur 7. 6. 2003. Charakteristika lokality je velmi obdobná jako u lokality „Ohře Hostěnice“, která je přibližně 10 km dále po proudu řeky. Jedná se také o součást EVL Ohře. Řeka Ohře protéká převážně antropogenní modifikovanou kulturní krajinou, ale vlastní tok řeky je málo regulovaný a převážně si zachovává svůj přirozený charakter. Dominantní složkou bioty Ohře je makrofytní vegetace tekoucích vod fytocenologicky zařaditelná do svazu *Batrachion fluitantis*. EVL Ohře patří k nejrozsáhlejším lokalitám velevrubu tupého v ČR (Natura 2000).



Obrázek 9: Letecká fotografie lokality „Ohře Radovesice“ a okolí. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

OHRR	BSK5 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/m	pH	teplota (°C)
minimum	0,30	0,50	0,02	4,99	7,07	0,0
průměr	2,20	2,67	0,10	45,17	7,70	10,4
medián	1,90	2,60	0,09	44,90	7,70	10,3
maximum	12,80	4,52	0,30	71,10	8,40	23,1

Tabulka 4: Přehled hodnot chemických parametrů na lokalitě „Ohře Radovesice“ z období leden 1990 až březen 2009. Zdroj dat IS AROW.

5.4.5 Bystřice Třesovice (BT)

Dne 16. 5. 2008 proběhl sběr na lokalitě „Bystřice Třesovice“. Lokalita se nachází v areálu EVL Bystřice. Jedná se o menší tok, kde je spíše ojedinělý výskyt velevruba tupého, populace je slabá a roztroušená. Bystřice je částečně regulovaná a protéká zemědělskou odlesněnou krajinou. Zemědělská půda je zdrojem jemných půdních částic v důsledku eroze a lokalita je také zatížena znečištěním z plošných i bodových zdrojů. Na toku je několik nepřekonatelných migračních bariér (Natura 2000).

Z hlediska chemismu vody je tato lokalita specifická tím, že extrémy patří k těm nejvyšším mezi sledovanými lokalitami, přestože průměrné hodnoty jednotlivých ukazatelů nijak nevybočují. To poukazuje na občasné výrazné zhoršení kvality vody (viz tabulka 5 a kapitola 6.1).



Obrázek 10: Letecká fotografie lokality „Bystřice Třesovice“ a okolí. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

BT	BSK5 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/m	pH	teplota (°C)
minimum	0,90	1,60	0,06	36,00	7,30	0,0
průměr	3,39	5,65	0,23	75,79	7,95	10,2
medián	2,80	4,90	0,20	75,70	7,90	10,1
maximum	37,00	15,40	0,82	139,80	8,90	22,8

Tabulka 5: Přehled hodnot chemických parametrů na lokalitě „Bystřice Třesovice“ z období leden 1990 až prosinec 2008 (odběrový profil Kosičky). Zdroj dat IS AROW.

5.4.6 Bečva Hranice náhon (BH)

Sběr na lokalitě „Bečva Hranice náhon“ byl proveden dne 17. 5. 2008. Náhon v obci Hranice vtéká do EVL Bečva - Žebračka. Celé toto území, včetně několika náhonů je bohaté na ohrožené druhy živočichů. Jedná se zejména o obojživelníky, ptáky a mlže (Natura 2000).

V porovnání s ostatními lokalitami je Bečva Hranice méně zatížena znečištěním a hodnoty BSK_5 , $Pcelk$ a $N-NO_3$ nabývají spíše nižších hodnot. Extrémní hodnoty jsou v porovnání s ostatními nízké.



Obrázek 11: Letecká fotografie lokality „Bečva Hranice náhon“ a okolí. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

BH	BSK5 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/m	pH	teplota (°C)
minimum	1,00	0,49	0,03	20,90	7,70	0,0
průměr	1,68	1,83	0,09	35,16	8,10	9,3
medián	1,60	1,94	0,09	35,20	8,10	6,2
maximum	2,80	2,87	0,16	53,30	9,20	24,7

Tabulka 6: Přehled hodnot chemických parametrů na lokalitě „Bečva Hranice náhon“ z období leden 2007 až březen 2009 (odběrový profil Teplice). Zdroj dat IS AROW.

5.4.7 Bečva Hovězí náhon (BNH)

Jediná lokalita v rámci EVL Beskydy, kde se vyskytuje *Unio crassus* je bývalý mlýnský náhon na Vsetínské Bečvě v obci Hovězí. Zde byl proveden sběr lastur dne 30. 7. 2007. Část náhonu prochází autokempem. Tok řeky je výrazně ovlivněn činností člověka a vyznačuje se četným přehrazením. Je intenzivně využíván vodáky i rybáři (Beran, 2007).

K této lokalitě je nejmenší počet rozborů kvality vody, pouze 5 v průběhu roku 2007. Z výsledků ale vyplývá, že jakost vody v tomto období byla příznivá a klíčové ukazatele (*BSK₅*, *P celk*, *konduktivita* a *N-NO₃*) nabývaly nízkých hodnot (viz tabulka 7).



Obrázek 12: Letecká fotografie lokality „Bečva Hovězí náhon“ a okolí. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

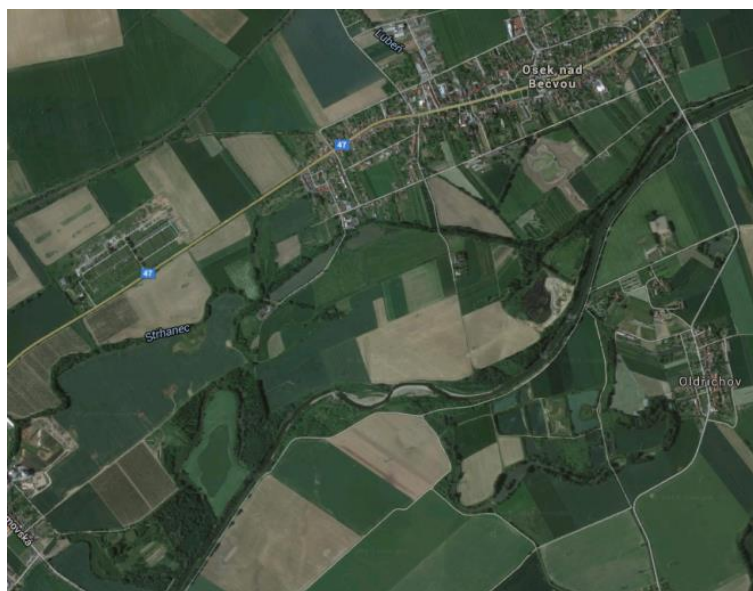
BNH	BSK ₅ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/m	pH	teplota (°C)
minimum	0,50	1,10	0,05	18,20	8,12	4,1
průměr	0,84	1,41	0,09	25,66	8,35	10,5
medián	0,71	1,42	0,06	23,30	8,31	11,1
maximum	1,75	1,80	0,18	36,00	8,80	18,3

Tabulka 7: Přehled hodnot chemických parametrů na lokalitě „Bečva Hovězí náhon“ z období březen 2007 až prosinec 2007. Zdroj dat IS AROW.

5.4.8 Bečva Osek náhon Strhanec (STR)

Lastury z lokality „Bečva Osek náhon Strhanec“ byly sesbírány 4. 12. 2012. Tato lokalita je přímo součástí EVL Bečva - Žebračka a je zde bohatá populace veveruba tupého. Jak už bylo zmíněno u lokality Bečva Hranice, vyskytují se zde také další chránění živočichové. Řeka Bečva například představuje jeden ze dvou toků na území ČR osídlených hrouzkem Kesslerovým (*Gobio kessleri*). Lokalita „Bečva Osek náhon Strhanec“ je v současnosti ohrožována především platným manipulačním řádem - každoročně je náhon na několik týdnů vypouštěn a místně je odstraňován i sediment (Natura 2000).

Chemické parametry poukazující na znečištění vykazují průměrné, nebo nižší hodnoty (viz tabulka 8).



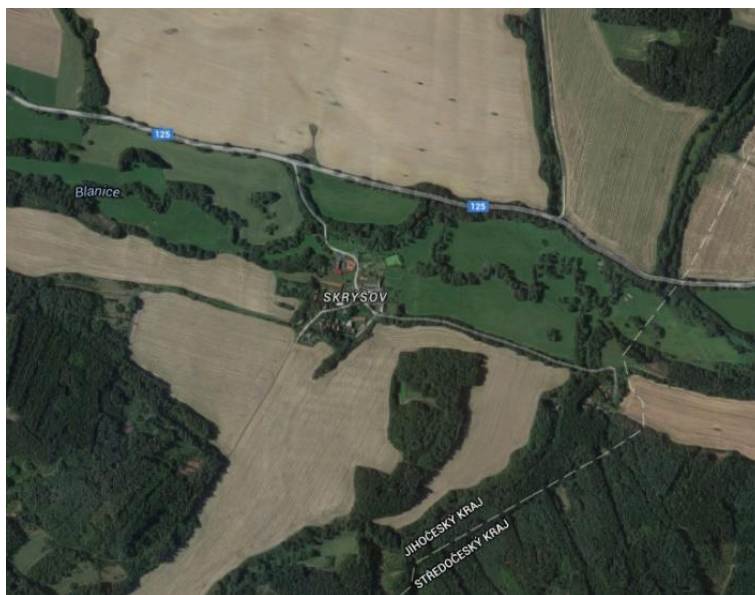
Obrázek 13: Letecká fotografie lokality „Bečva Osek náhon Strhanec“ a okolí. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

STR	BSK5 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/m	pH	teplota (°C)
minimum	1	0,1	0,028	21,6	7,6	0
průměr	1,96	2,30	0,09	36,80	8,03	9,3
medián	1,7	2,24	0,084	37,75	8	6,5
maximum	6,6	5,4	0,184	55,9	8,7	25,5

Tabulka 8: Přehled hodnot chemických parametrů na lokalitě „Bečva Osek náhon Strhanec“ z období leden 2007 až březen 2009 (odběrový profil Osek). Zdroj dat IS AROW.

5.4.9 Blanice Skřýšov (BL1)

Lokalita „Blanice Skřýšov“ leží cca 20 km proti proudu řeky od lokality „Blanice Znosim“. Vzorky zde byly sbírány 30. 4. 2011 a jedná se o lastury dlouhověkých jedinců se silně korodovanou lasturou. Lokalita má podobnou charakteristiku, jako „Blanice Znosim“ a také je součástí EVL Vlašimská Blanice (Natura 2000). Chemické parametry ukazují silnější znečištění vody, než u lokality BL 2 (viz kapitola 6.1).



Obrázek 14: Letecká fotografie lokality „Blanice Skřýšov“ a okolí. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

BL1	BSK5 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/m	pH	teplota (°C)
minimum	1,50	0,20	0,06	26,60	7,28	3,4
průměr	5,25	4,65	0,28	34,75	7,50	10,9
medián	4,75	3,60	0,24	34,00	7,48	8,8
maximum	15,00	11,00	0,87	42,90	7,85	20,5

Tabulka 9: Přehled hodnot chemických parametrů na lokalitě „Blanice Skřýšov“ z období leden 2007 až prosinec 2008 (odběrový profil Mladá Vožice). Zdroj dat IS AROW

5.4.10 Blanice Znosim (BL2)

Odběr lastur na lokalitě „Blanice Znosim“ proběhl 20. 7. 2013. Lastury z obou lokalit na řece Blanici dosahují výrazně vyššího věku, než na ostatních lokalitách. Většina lastur je u zámku korodovaná a nebylo možné odečíst obrys z druhé roku života mlže. Lokalita je součástí území EVL Vlašimská Blanice. Jedná se o menší řeku, která je lokálně regulována a v dolní části je několik příčných překážek. Populace velevruba tupého je slabá a rozptýlená. Dále se na území vyskytuje mihule potoční a vydra říční. Všechny tyto druhy jsou ohroženy znečištěním a u mihule a velevruba také migračními překážkami (Natura 2000). Kvalita vody je v porovnání s ostatními lokalitami průměrná, pouze s vyšší průměrnou hodnotou $N-NO_3$ (viz tabulka 9 a kapitola 6.1).



Obrázek 15: Letecká fotografie lokality „Blanice Znosim“ a okolí. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

BL2	BSK5 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/m	pH	teplota (°C)
minimum	1,70	1,30	0,04	30,50	7,67	2,8
průměr	2,69	4,55	0,09	33,33	8,12	10,9
medián	2,50	3,60	0,09	32,30	7,98	10,6
maximum	5,70	10,00	0,16	40,00	8,90	17,7

Tabulka 10: Přehled hodnot chemických parametrů na lokalitě „Blanice Znosim“ z období leden 2007 až prosinec 2008 (odběrový profil Vlašim). Zdroj dat IS AROW

5.4.11 Odra Suchdol nad Odrou (OS)

Lokalita „Odra Suchdol nad Odrou“ se nachází v prostoru CHKO Poodří, které je specifické zachovalostí říční nivy s mokřadními ekosystémy závislými na rozkolísaném hydrologickém režimu. Meandrující tok řeky a přilehlé tůně jsou obývány velkým množstvím obojživelníků. Vyskytují se zde naturové druhy ryb a je zde také stálá populace raka říčního (*Astacus astacus*). Voda obsahuje jen malé množství dusičnanů a ostatní chemické parametry nabývají průměrných hodnot v porovnání s ostatními lokalitami. Lokalita je ohrožena zejména velkým množstvím návštěvníků, kteří CHKO Poodří využívají k relaxaci (Natura 2000). Lastury z této lokality byly sbírány 28. 4. 2007.



Obrázek 16: Letecká fotografie lokality „Odra Suchdol nad Odrou“ a okolí. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

OS	BSK5 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/m	pH	teplota (°C)
minimum	1,50	0,02	0,08	19,40	7,50	0,1
průměr	3,85	0,07	0,22	36,24	7,84	10,9
medián	3,60	0,06	0,22	39,50	7,80	10,5
maximum	9,30	0,20	0,48	50,50	8,33	21,7

Tabulka 11: Přehled hodnot chemických parametrů na lokalitě „Odra Suchdol nad Odrou“ z období leden 2007 až prosinec 2008. Zdroj dat IS AROW

5.4.12 Chumava (CH)

Dne 13. 7. 2009 byly sebrány vzorky na lokalitě „Chumava“ mezi obcemi Libomyšl a Neumětely. Chumava je menší tok, s častými velkými povodňovými vlnami. Většina délky toku je po regulaci v silně degradovaném stavu (ekologicky i vodohospodářsky). Říčka patří mezi nejvíce poškozené toky ve Středočeském kraji (AOPK2, citováno 2015)

Z chemických dat lze vyzorovat nárazově zvýšené hodnoty fosforu a vodivosti. Ostatní hodnoty jsou v normě v porovnání s dalšími lokalitami (viz tabulka 12 a kapitola 6.1).



Obrázek 17: Letecká fotografie lokality „Chumava“ a okolí. Zdroj: www.mapy.cz (2015).

CH	BSK5 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/m	pH	teplota (°C)
minimum	0,90	0,78	0,07	51,47	7,30	0,6
průměr	2,18	3,27	0,24	75,19	7,96	10,0
medián	1,85	2,95	0,20	77,64	7,94	10,2
maximum	6,20	8,10	0,59	102,25	8,60	19,4

Tabulka 12: Přehled hodnot chemických parametrů na lokalitě „Blanice Znosim“ z období leden 2007 až prosinec 2008 (odběrový profil Libomyšl). Zdroj dat IS AROW

6 Výsledky

Pro účely této práce bylo použito celkem 1129 obrysů 260 lastur z 12 lokalit. Statistická analýza byla provedena v několika navazujících krocích (jak je výše uvedeno v kapitole 5.2).

6.1 Charakteristika vstupních dat

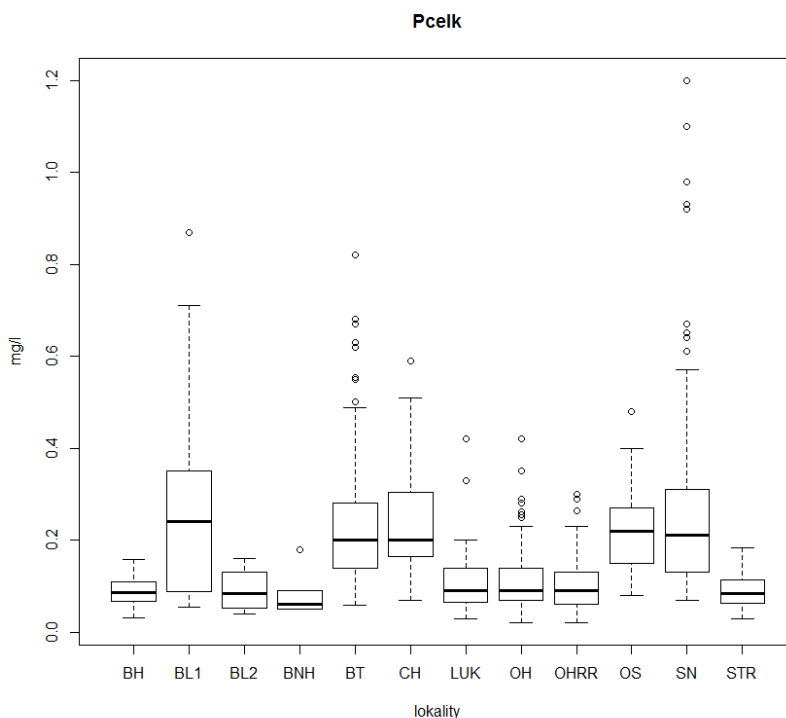
6.1.1 Charakteristika lokalit

Data, získaná z dostupných lastur, jsou výrazně nesourodá, zejména pokud porovnáváme lokality. Například pro lokalitu „Lukavecký potok“ (LUK) je k dispozici 42 jedinců. V porovnání s ostatními ale nabývají jedinci z této lokality spíše menších velikostí (viz tabulka 13). Nejmenší věkový průměr náleží k lokalitě „Bečva Osek náhon Strhanec“ (STR), naopak nejstarší jedinci jsou na lokalitě „Blanice Skrýšov“ (BL1). Největší hodnotu Bertalanffyho růstové konstanty můžeme pozorovat u lokality „Bečva Hranice náhon“ (BH), naopak nejpomaleji rostou jedinci na lokalitě BL1. Je tedy zřejmé, že variabilita vstupních dat je značná. Ošetření této odlišnosti při výpočtech je popsáno v kapitole č. 5.2.

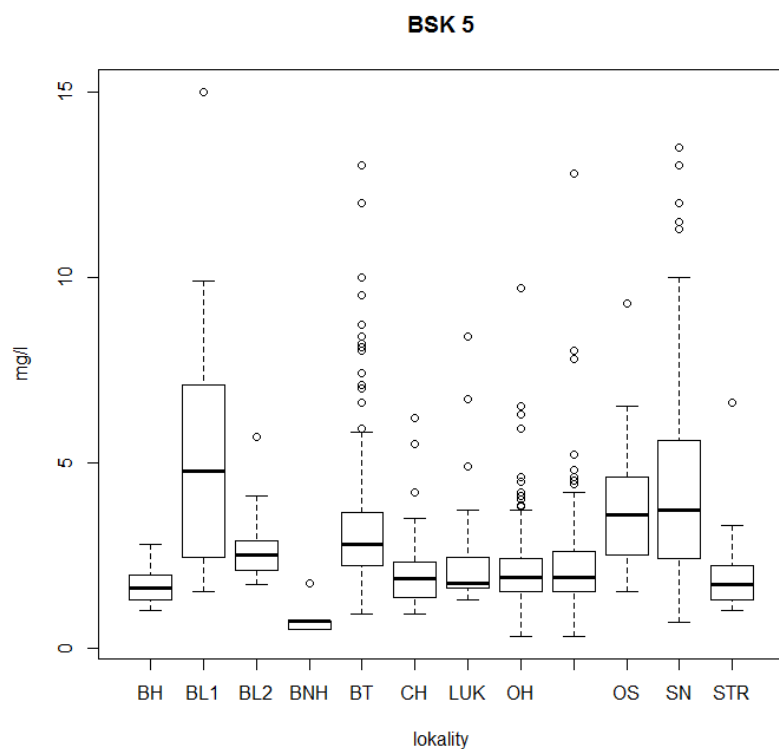
lokalita	B. růstová konstanta	vzdálenost od rybníka (m)	počet jedinců	nejstarší jedinec (roky)	největší jedinec (mm)	věkový průměr	délkový průměr (mm)
BH	0,782	11300	26	6	64,5	4,4	51,3
BL1	0,151	5000	10	15	66,3	7,8	59,6
BL2	0,205	4100	19	8	63,0	6,5	49,2
BNH	0,357	650	19	8	52,7	5,1	40,9
BT	0,595	5600	22	7	61,8	5,3	52,4
CH	0,374	4000	28	8	76,2	6,0	58,0
LUK	0,311	4300	42	8	55,4	4,7	41,1
OH	0,481	5200	28	8	77,6	7,0	64,0
OHRR	0,237	200	11	8	72,8	6,1	58,7
OS	0,41	7300	22	6	64,6	4,4	53,3
SN	0,37	2200	10	8	69,5	6,3	58,4
STR	0,642	2600	23	6	62,2	3,9	49,0

Tabulka 13: Přehled základních charakteristik všech lokalit.

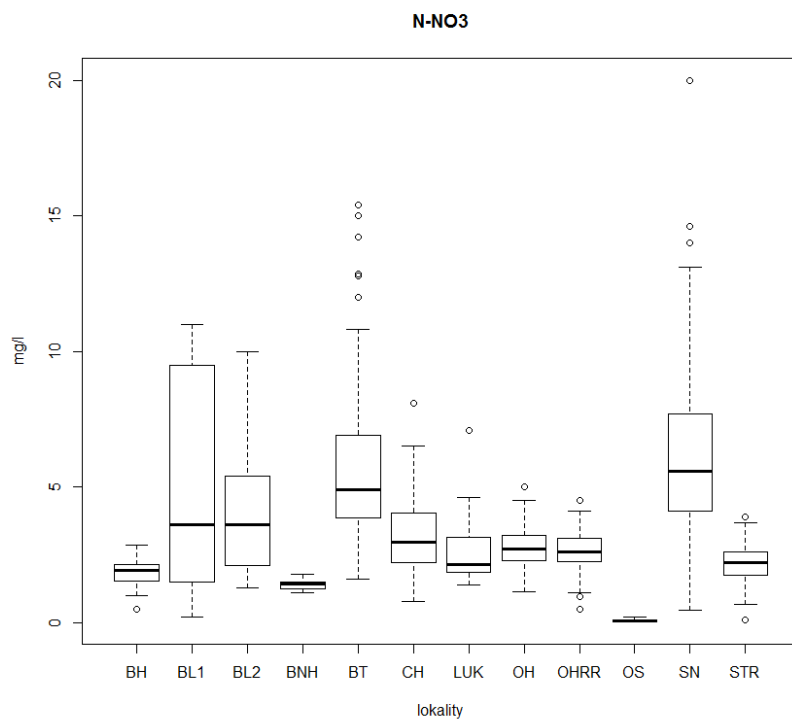
Pokud srovnáme lokality z hlediska parametrů jakosti vody, také můžeme vidět značné odlišnosti (viz grafy 1 až 6). Například lokalita „Sázava Nespeky“ vykazuje časté extrémní hodnoty u všech parametrů kromě *konduktivity* a *teploty* (viz grafy 5 a 6). Výrazný rozptyl hodnot je zejména u parametru *pH* (graf 4). Lokalita „Bečva Hovězí náhon“ BNH nabývá velmi nízkých hodnot u parametrů souvisejících se znečištěním vody (*BSK₅*, *N-NO₃*, *Pcelk*, *konduktivita*), dá se tedy předpokládat, že voda na této lokalitě není nijak výrazně zatížena znečištěním. Naopak lokalita „Blanice Skryšov“ (BL1), ze které pocházejí ti nejstarší jedinci, má hodnoty parametrů značící znečištění v porovnání s ostatními lokalitami spíše vyšší. U této lokality je také zajímavé výrazně nižší *pH* vody, než u ostatních (průměr = 7,50). Lokalita „Bystřice Třesovice“ (BT) má podobně jako BL1 vyšší hodnoty *BSK₅*, *N-NO₃*, *Pcelk* i *konduktivity* s častými a výraznými zvýšenými hodnotami. Určité extrémy můžeme pozorovat u jednotlivých parametrů také u jiných lokalit. Lokalita „Odra Suchdol nad Odrou“ (OS) má velmi nízké hodnoty *N-NO₃* (průměr = 0,07 mg/l), přestože ostatní ukazatele nabývají spíše průměrných hodnot.



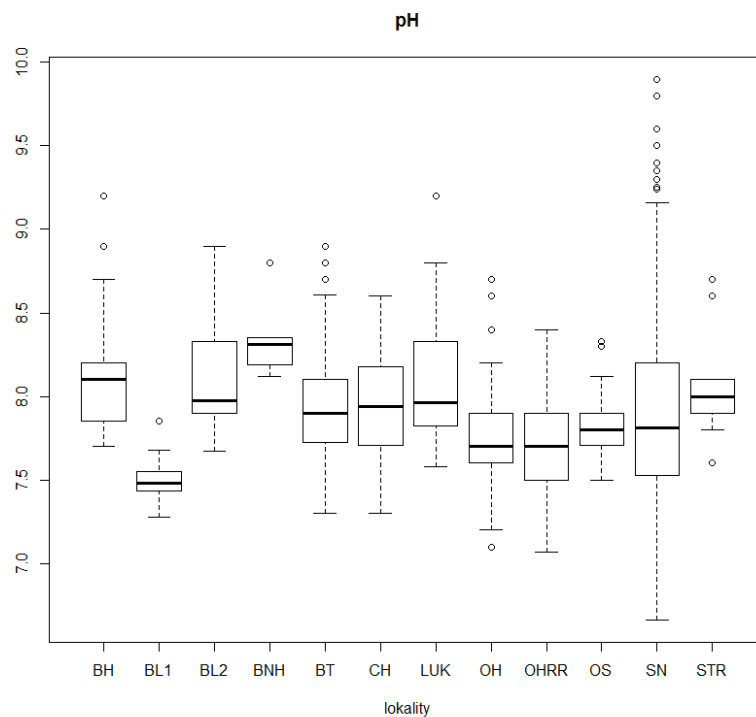
Graf 1: Zobrazení rozložení hodnot celkového fosforu – *Pcelk* (mg/l) na všech lokalitách. Grafy zobrazují medián, mezikvartilové rozpětí a extrémní hodnoty.



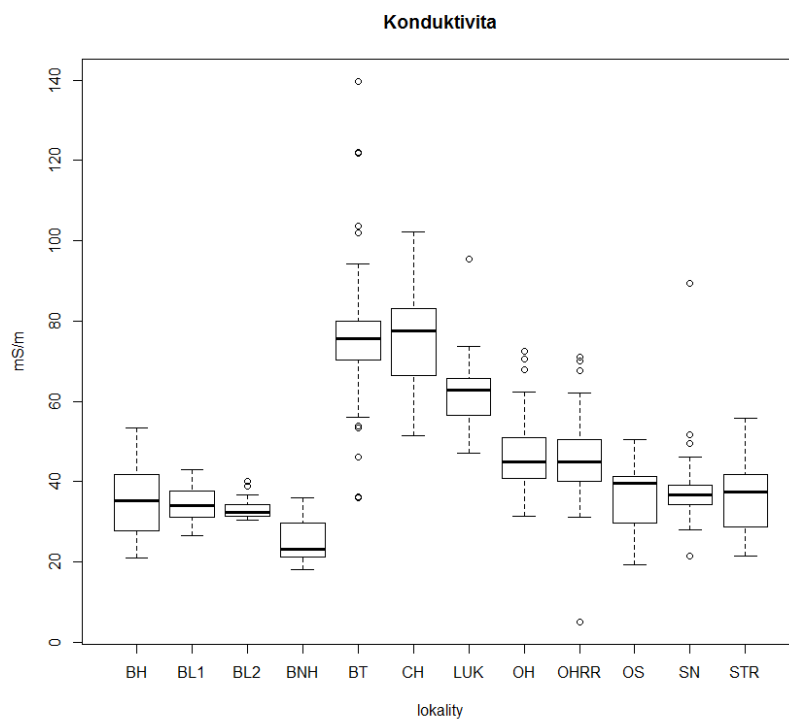
Graf 2: Zobrazení rozložení hodnot biologické spotřeby kyslíku – BSK₅ (mg/l) parametrů na všech lokalitách. Grafy zobrazují medián, mezikvartilové rozpětí a extrémní hodnoty.



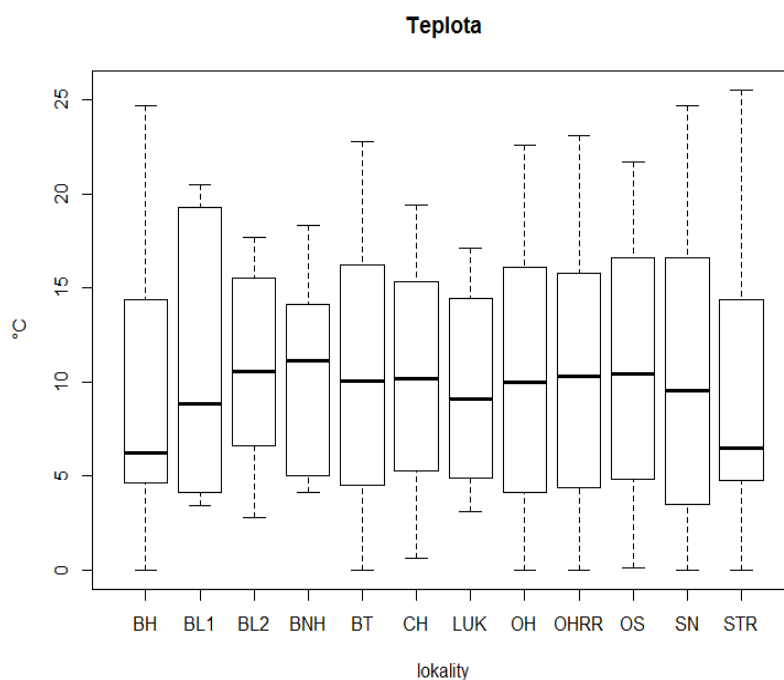
Graf 3: Zobrazení rozložení hodnot dusičnanového dusíku - N-NO₃ (mg/l) parametrů na všech lokalitách. Grafy zobrazují medián, mezikvartilové rozpětí a extrémní hodnoty.



Graf 4: Zobrazení rozložení hodnot pH na všech lokalitách. Grafy zobrazují medián, mezikvartilové rozpětí a extrémní hodnoty.



Graf 5: Zobrazení rozložení hodnot vodivosti – *konduktivita* (mS/m) na všech lokalitách. Grafy zobrazují medián, mezikvartilové rozpětí a extrémní hodnoty.



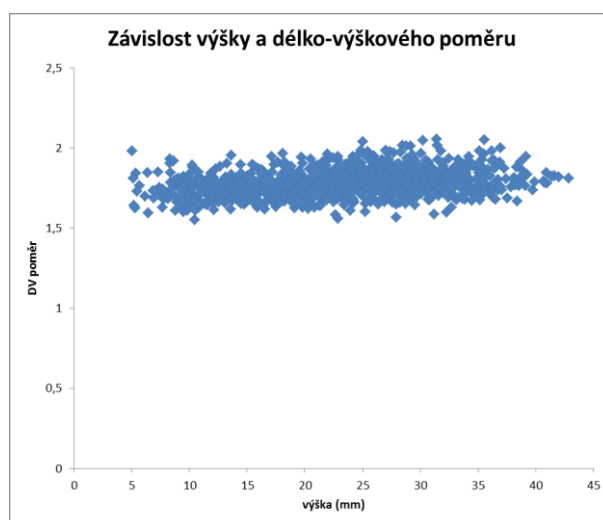
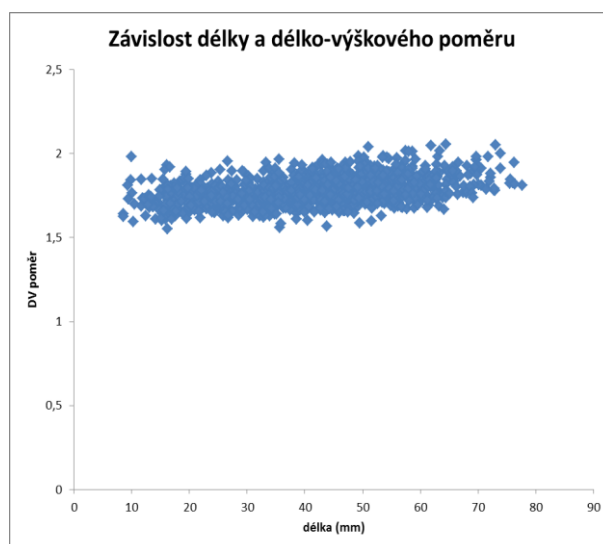
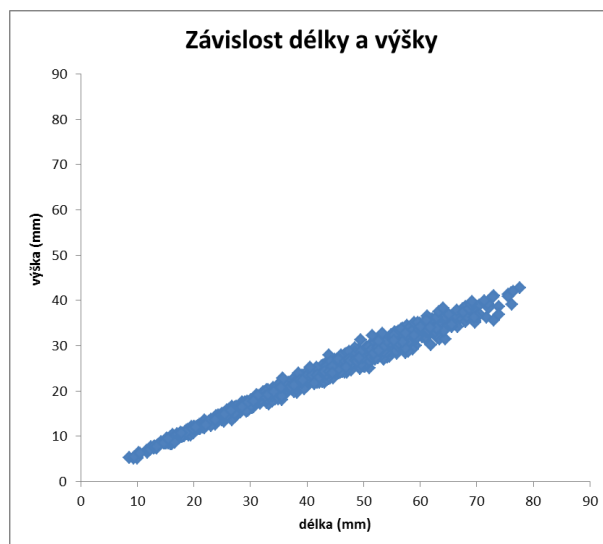
Graf 6: Zobrazení rozložení hodnot parametru *teplota* (°C) na všech lokalitách. Grafy zobrazují medián, mezikvartilové rozpětí a extrémní hodnoty.

6.1.2 Vzájemný vztah délky, výšky a délko-výškového poměru

Pro správnou interpretaci výsledků GLM modelu je třeba znát vzájemný průběh základních proměnných, což jsou *délka* a *výška*. *Délko-výškový poměr* je jejich lineární funkcí, jak je parné z grafů 7 až 10. Tyto proměnné jsou vzájemně lineárně korelované:

- *délka* a *výška*, $\text{cor} = 0.99$,
- *délka* a *délko-výškový poměr*, $\text{cor} = 0.41$,
- *výška* a *délko-výškový poměr*, $\text{cor} = 0.23$.

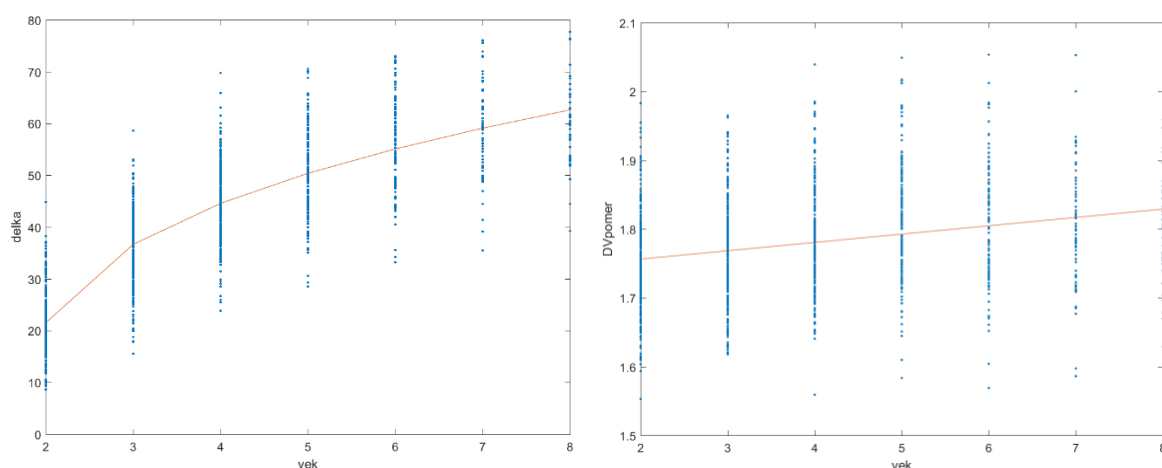
Vztahy dalších velikostních proměnných a jejich závislost na věku jsou analyzovány v následující kapitole 6.2.



Grafy 7 až 10: Zobrazení korelace *délky* (mm) a *výšky* (mm) ($\text{cor} = 0,99$); *délky* (mm) a *délko-výškového poměru* ($\text{cor} = 0,41$); *výšky* (mm) a *délko-výškového poměru* ($\text{cor} = 0,23$).

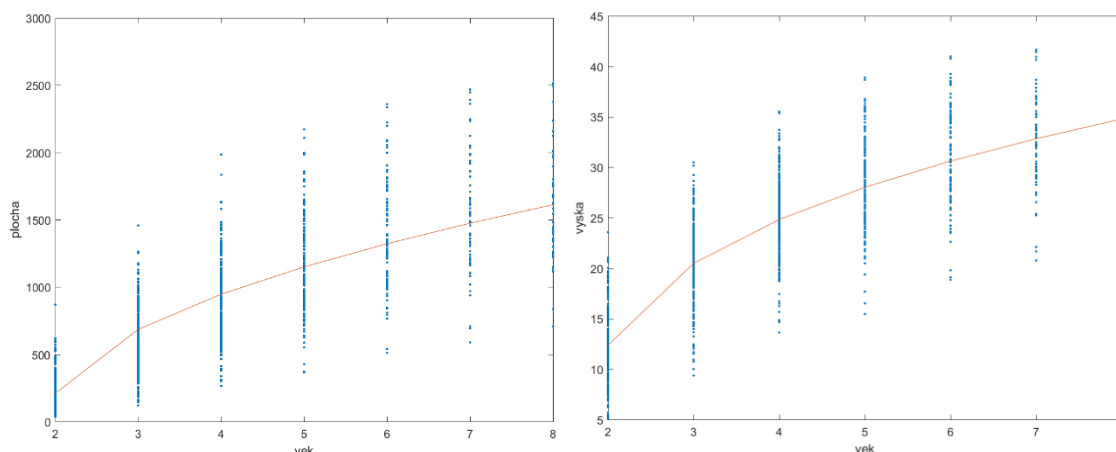
6.2 Hodnocení růstu - závislosti velikostních proměnných na věku jedinců

Nejprve byla testována závislost velikostních proměnných na věku pro potřeby dalších analýz. Závislost *délky* (mm) na *věku* se ukázala jako nelineární. Jako nejvhodnější se ukázala regresní křivka třetí odmocniny, která vykazuje nejmenší rozptyl reziduí. Další testovanou závislostí byl *délko-výškový poměr* na *věku*. Zde je závislost lineární s mírným sklonem regresní přímky (viz grafy 11 a 12).



Grafy 11 a 12: Zobrazení průběhu závislosti *délky* (mm) na *věku* odpovídající křivce třetí odmocniny (Spearmanův korelační koeficient = 0.8459528, $p = 2,2 \cdot 10^{-16}$, σ rezidua = 7,8) a průběh lineární závislosti *délko-výškového poměru* na *věku* (Pearsonův korelační koeficient = 0.2489756, $p = 2,2 \cdot 10^{-14}$, σ rezidua = 0,0785)

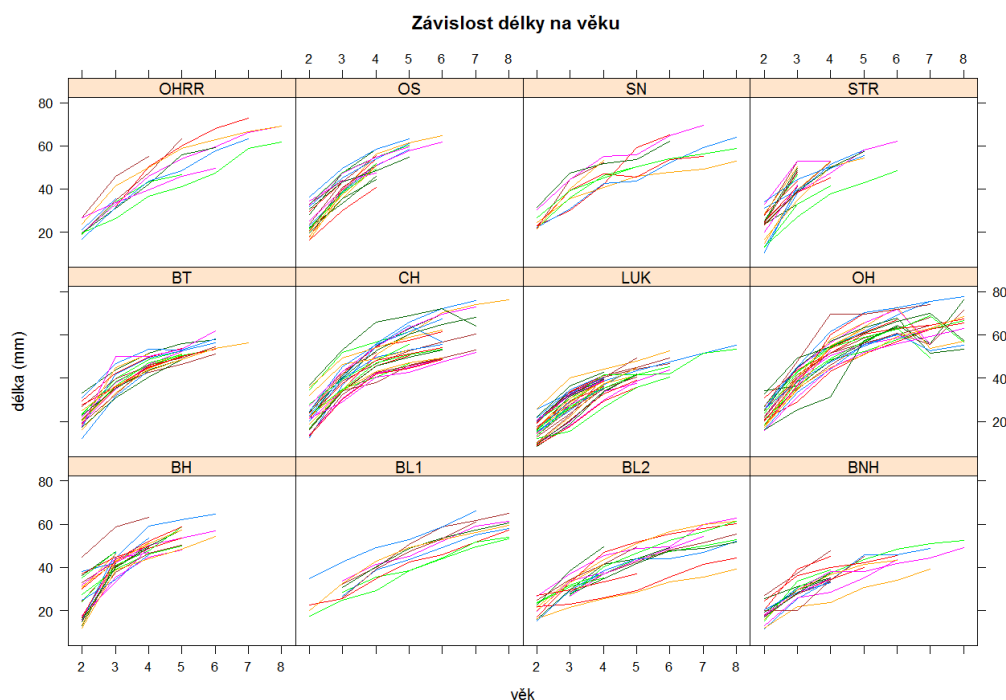
Testovaná závislost *plochy* na *věku* vykazuje největší shodu s křivkou druhé odmocniny. *Výška* v závislosti na *věku* vykazuje průběh regresní křivky nejbližší tvaru třetí odmocniny. Přestože výše popsané křivky vykazují nejmenší rozptyl reziduí, stále je variabilita poměrně velká, což je patrné z přiložených grafů 13 a 14.



Grafy 13 a 14: Zobrazení průběhu závislosti *plochy* (mm^2) na *věku* odpovídající křivce druhé odmocniny (Spearmanův korelační koeficient = 0.8513912, $p=2,2 \cdot 10^{-16}$, σ rezidua = 298,9) a průběh závislosti *výšky* (mm) na *věku* s křivkou třetí odmocniny (Spearmanův korelační koeficient = 0.8515301, $p=2,2 \cdot 10^{-16}$, σ rezidua = 4,1).

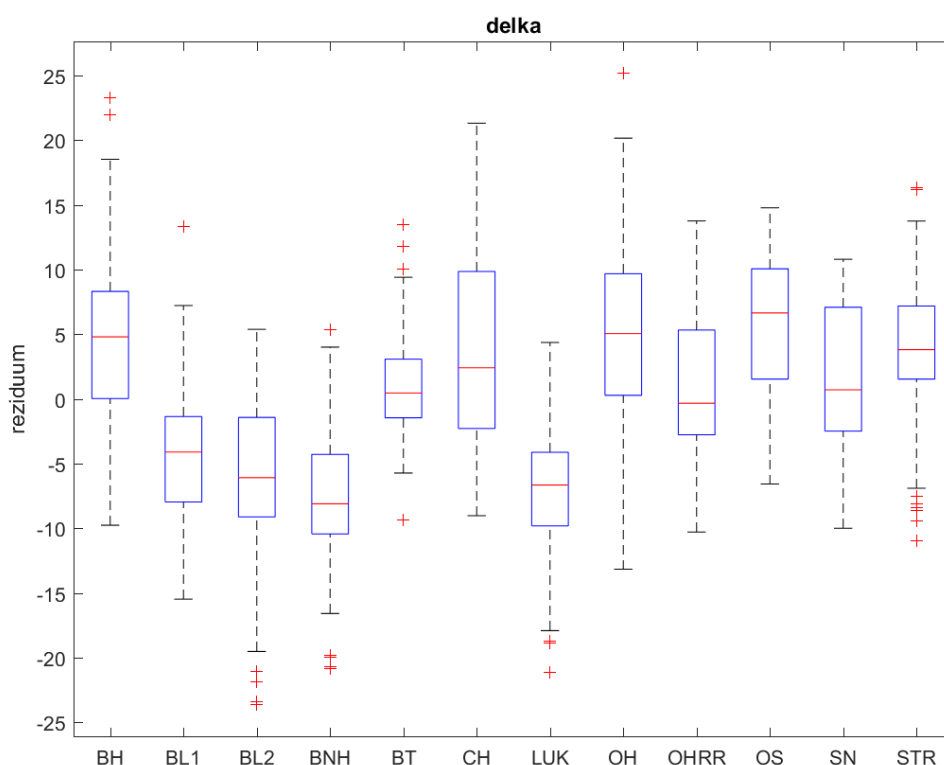
6.3 Hodnocení růstu v závislosti na lokalitě

Graf 15 zobrazuje závislost délky na věku na jednotlivých lokalitách. Vývoj jedince je spojen čarou. Na tomto grafu je patrná struktura dat - tedy kolik je jedinců na dané lokalitě a jakého věku dosahují. Také je vidět rozptyl jednotlivých růstových křivek na dané lokalitě. V neposlední řadě si můžeme všimnout, že průběh růstu je na lokalitách odlišný.



Graf 15: Zobrazení vývoje *délky* (mm) na *věku* na zkoumaných lokalitách. Jednotlivé linie zobrazují růst jedinců.

Odlišnost jednotlivých lokalit a konkrétních parametrů znázorňují grafy 16 až 18, které porovnávají rezidua hodnot příslušných proměnných, vyplývající z grafů v předchozí kapitole 6.2. Z hodnocení reziduí *délky* v závislosti na *věku* a lokalitě (kde byla použita jako nejlépe odpovídající křivka třetí odmocniny) vyplývá, že lokality, CH, OH, OS, STR tvoří jednu skupinu, která je shodná s lokalitou BH s pravděpodobností $p = 1$ až 0,97. Druhou skupinu tvoří lokality BL1, BL2, BNH, LUK, které jsou s pravděpodobností $p = 2 \cdot 10^{-7}$ shodné s lokalitou BH – nízká hodnota p značí, že jsou uvedené lokality signifikantně odlišné od BH. Lokality BT a OHRR a SN jsou přechodnými lokalitami, které se s některými lokalitami předchozích skupin shodují a od jiných se odlišují (viz graf 16).



Graf 16: Výsledky testu analýzy rozptylu reziduí *délky* na jednotlivých lokalitách. Pravděpodobnost shodného rozptylu $p = < 0,05$. Grafy zobrazují medián a 1,5 násobek mezikvartilového rozpětí.

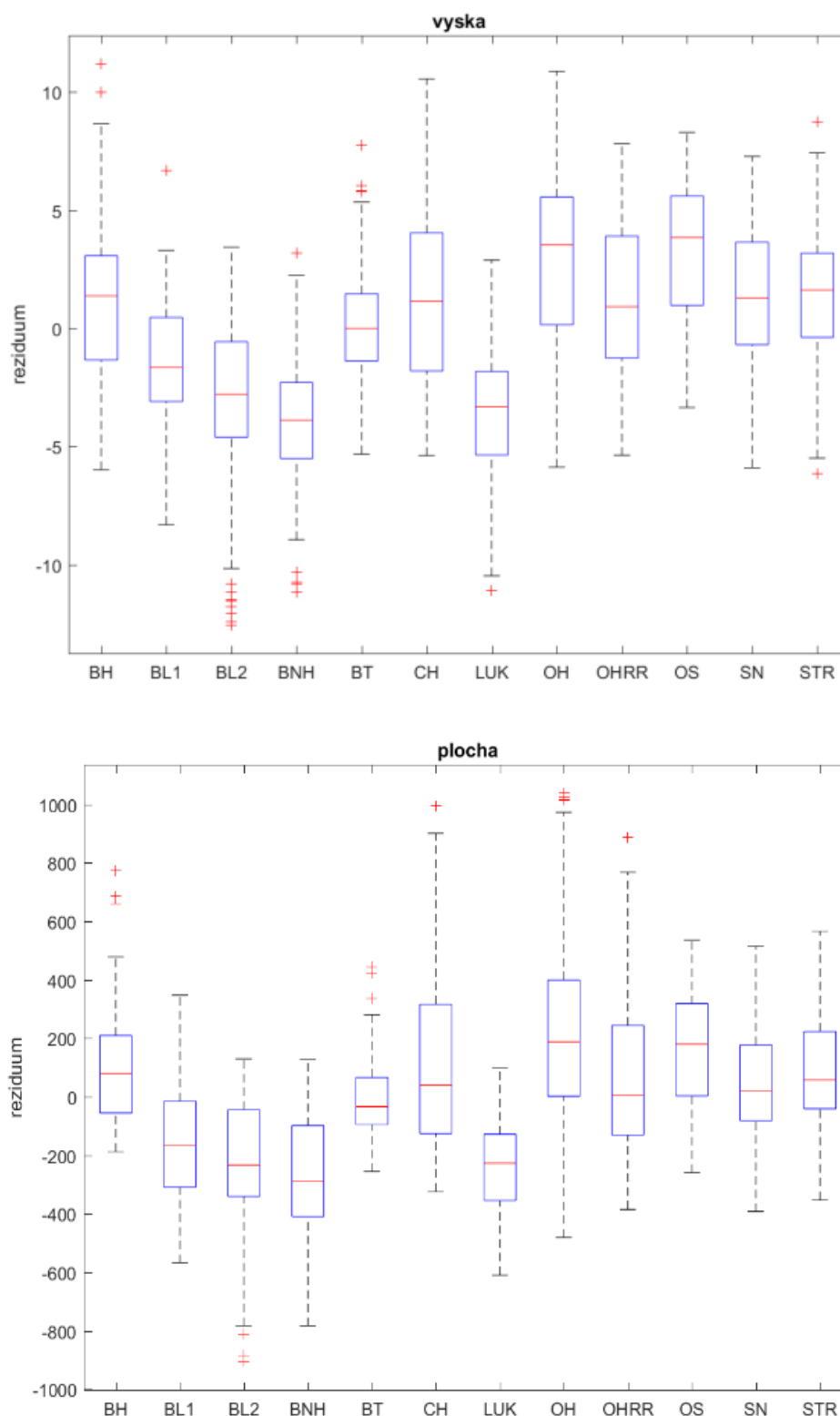
Z délek jednotlivých obrysů na konkrétní lokalitě byly vypočítány také hodnoty Bertalanffyho růstové konstanty. Pro porovnání souvislosti výsledku testu reziduí a B. růstové konstanty slouží tabulka 14. Z té je patrné, že lokality s vyšší hodnotou reziduí (skupina 1) mají také vyšší B. růstovou konstantu než lokality ze skupiny 2, které mají

hodnoty reziduí záporné. Dá se tedy říct, že na lokalitách ze skupiny 1 rostou jedinci rychleji (do délky), než na lokalitách ze skupiny 2.

skupina 1	růstová konstanta	skupina 2	růstová konstanta	přechodné	růstová konstanta
BH	0,782	BL1	0,151	BT	0,595
CH	0,374	BL2	0,205	OHRR	0,237
OH	0,481	BNH	0,357	SN	0,37
OS	0,41	LUK	0,311		
STR	0,642				

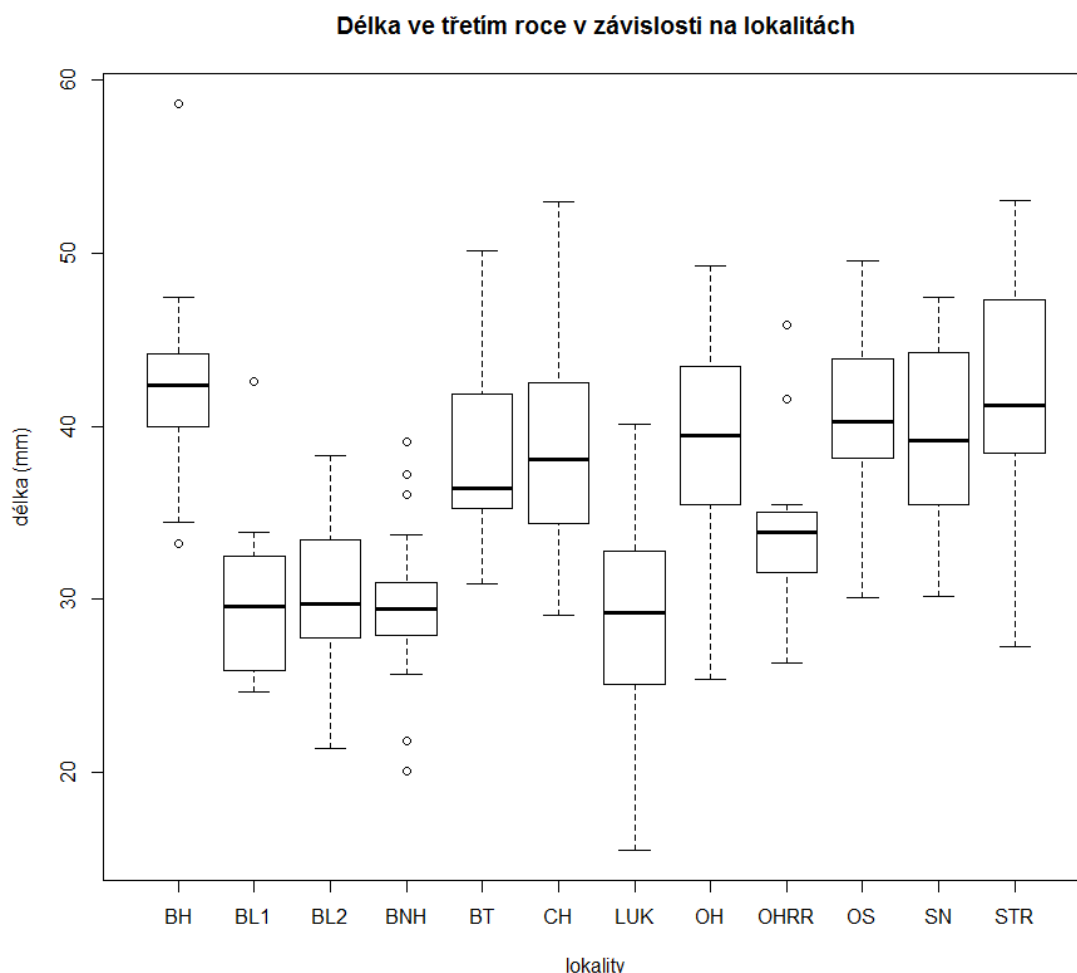
Tabulka 14: Porovnání hodnot B. růstových konstant s rozdělením do skupin dle výsledků ANOVA testu reziduí délky. Skupina 1 jsou lokality s větší relativní délkou, skupina 2 s menší relativní délkou.

U velikostních parametrů *výšky* a *plochy* je stav odlišnosti jednotlivých lokalit velmi podobný. Složení skupin je: první skupina s kladnými reziduály BH, BT, CH, OHRR, SN, STR, druhá skupina se zápornými reziduály BL2, BNH, LUK, přechodné lokality BL1, OH, OS, nespádají do žádné ze dvou skupin. Rozdíly mezi výsledky z porovnání závislosti *délky* na *věku* a *výšky* na *věku* se tedy týkají lokalit z přechodné skupiny, které předtím spadaly buď do první, nebo do druhé skupiny (viz grafy 17 a 18).



Grafy 17-18: Výsledky testu analýzy rozptylu reziduí *výšky* a *plochy* na jednotlivých lokalitách. Pravděpodobnost shodného rozptylu $p = < 0,05$ platí pro *výšku* i *plochu*. Grafy zobrazují medián a 1,5 násobek mezikvartilového rozpětí

Při porovnání délky ve třetím roce na zkoumaných lokalitách bylo zjištěno, že také v tomto parametru se lokality, tentokrát velmi zřetelně, odlišují ($p = 2.10^{-7}$). V grafu 19 lze pozorovat dvě skupiny lokalit. První skupinu s větší délkou tvoří lokality BH, BT, CH, OH, OS, SN, STR. Druhou skupinu s menšími lasturami tvoří lokality BL1, BL2, BNH, LUK, OHRR.

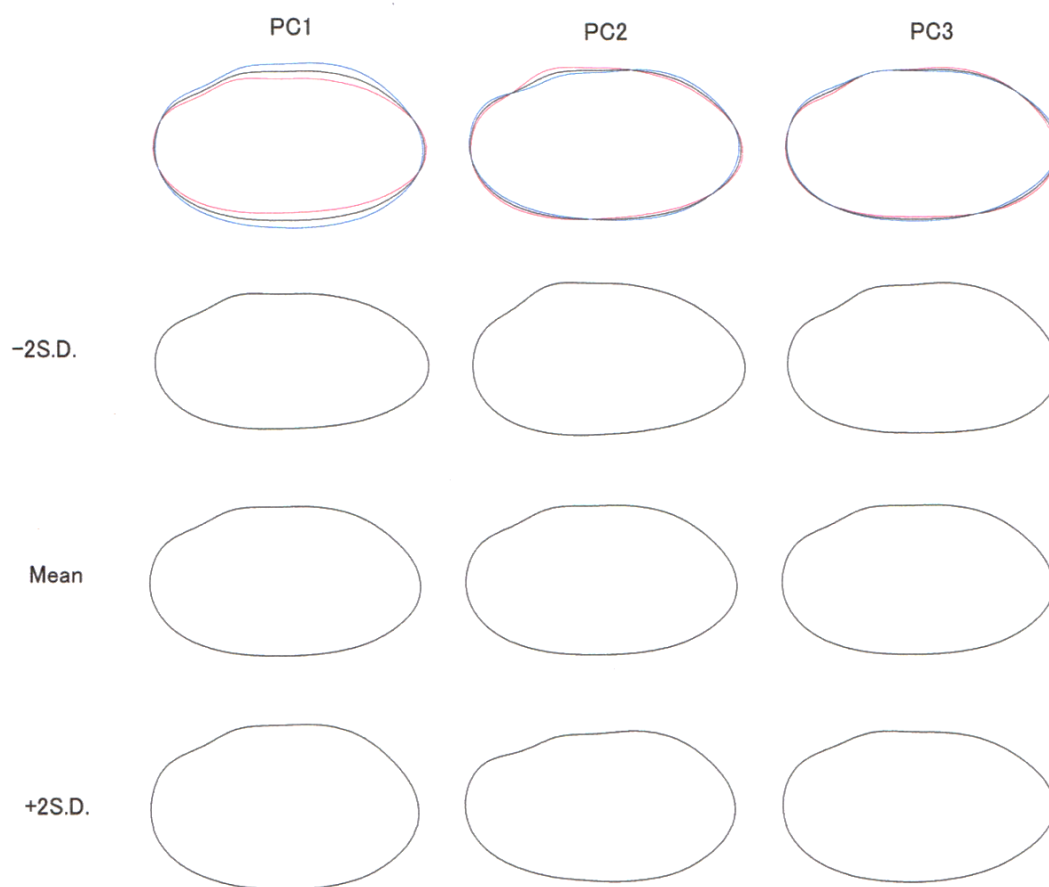


Graf 19: Výsledky testu analýzy rozptylu hodnot délky ve třetím roce na jednotlivých lokalitách. Pravděpodobnost shodného rozptylu $p = < 0,05$. Graf zobrazuje medián a mezikvartilové rozpětí.

Nulová hypotéza č. 2 „Rychlost růstu se na zkoumaných lokalitách neliší.“ Nemůže být potvrzena, neboť pravděpodobnost, že jsou některé lokality shodné, je menší než 0,05. Matice pravděpodobností pro jednotlivé velikostní proměnné je přílohou číslo 4.

6.4 Interpretace proměny tvarových parametrů v závislosti na velikostních proměnných a rychlosti růstu

Z PCA analýzy Fourierových koeficientů bylo získáno 6 hlavních komponent (PC os), které vysvětlují 93,8 % celkové tvarové variability. Pro potřeby statistického hodnocení závislosti tvaru na zmíněných parametrech byly používány pouze první tři osy. Míra vysvětlení variability datasetu je u těchto komponent: PC1 = 69,3 %, PC2 = 12,1 %, PC3 = 5,7 %. Tvarovou charakteristiku prvních tří os zobrazuje obrázek 18. Komponenta *PC1* popisuje protaženost/kulatost, *PC2* vyklenutí dorsální strany lastury v přední části. Charakteristika *PC3* jde těžko popsat, ale také se jedná o vyklenutí na různých místech po obvodu lastury.



Obrázek 18: Vykreslení teoretických křivek komponent PC 1, PC2 a PC3. V první řadě je znázorněn překryv rozdílných teoretických obrysů. V dalších řadách jsou teoretické obrysy pro směrodatnou odchylku - 2, průměrný tvar a směrodatnou odchylku +2 (zdroj Shape1.3).

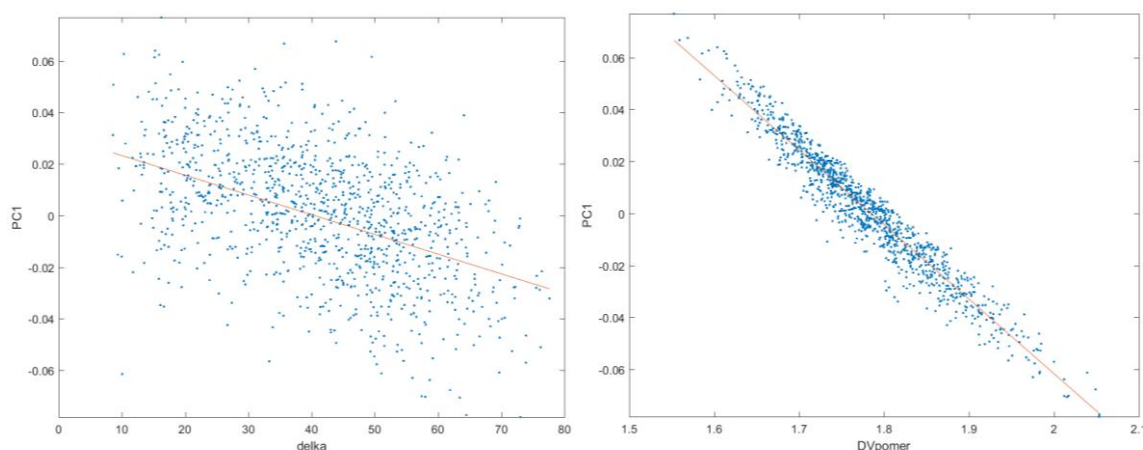
Výsledky ukazují, že největší míry vysvětlení u všech tří komponent se dá dosáhnout použitím kombinace všech testovaných velikostních proměnných zároveň. Pro *PC1* se dosáhne snížení rozptylu reziduí na 23%, u *PC2* na 69% a u *PC3* na 96%. Druhou nejvíce vysvětlující kombinací je *délko-výškový poměr* a *plocha* u *PC1* (snížení rozptylu reziduí na 23%) a *PC2* (snížení rozptylu reziduí na 71%).

Víme-li že maximální snížení rozptylu reziduí, kterého dosáhneme při použití všech velikostních proměnných najednou je na 23% z původního rozptylu, můžeme také porovnat různé další kombinace s použitím menšího počtu velikostních proměnných. Srovnatelné jsou:

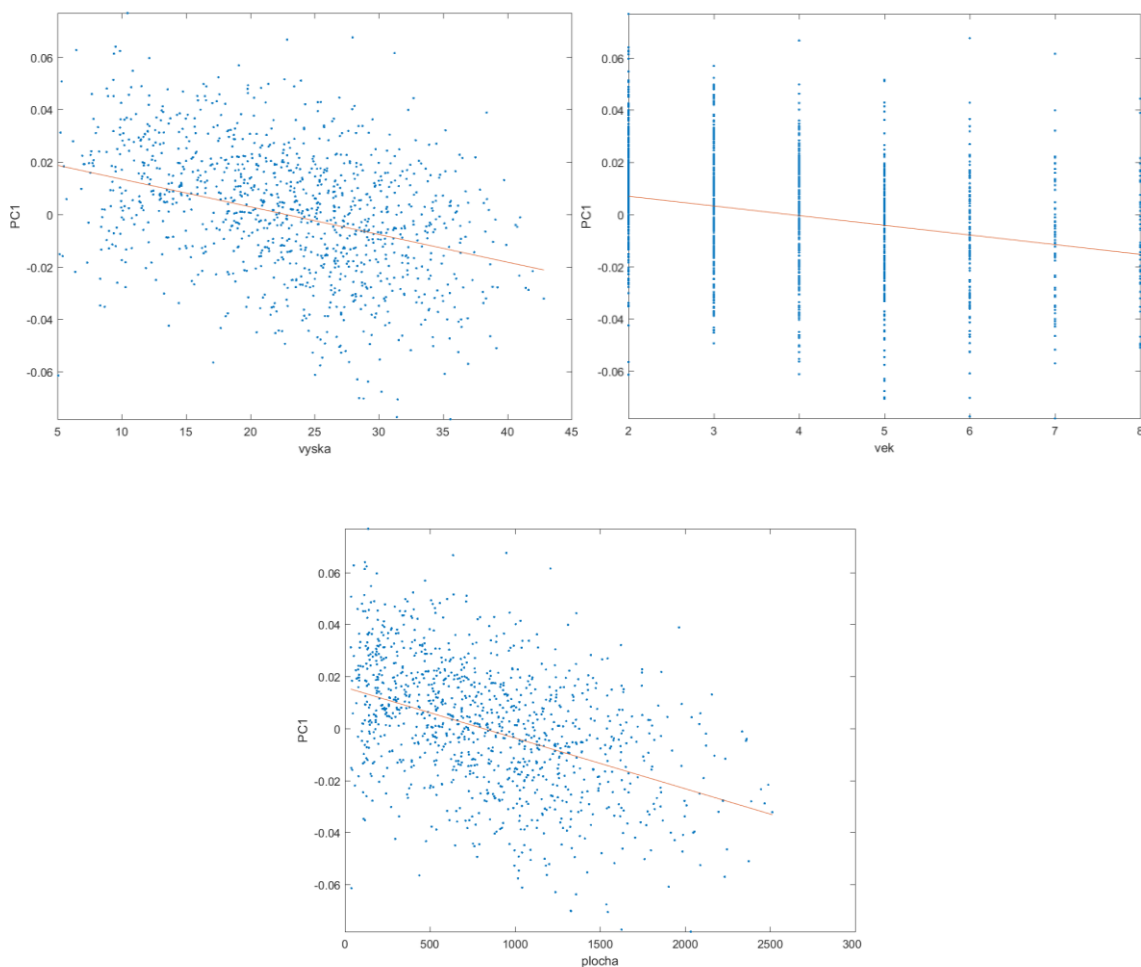
- *plocha* a *délko-výškový poměr* (snížení rozptylu na 23,1%)
- *délka* a *délko-výškový poměr* (snížení rozptylu na 23,2%),
- *výška* a *délko-výškový poměr* (snížení rozptylu na 23,2%),
- *věk* a *délko-výškový poměr* (snížení rozptylu na 23,9%).

Pokud bychom chtěli použít pouze jednu vysvětlující proměnnou, nejvhodnější je *délko-výškový poměr*, který sníží rozptyl reziduí na 25%. Matice všech kombinací je v příloze 4.

Grafy 20 až 24 znázorňují míru závislosti a sklon regresní přímky pro *PC1* a pět rozměrových proměnných. Na grafu 21, který ukazuje závislost *PC1* na *délko-výškovém poměru* (DVpomer) je vidět, že rozptyl hodnot je ve srovnání s ostatními mnohem menší. U všech ostatních grafů je rozptyl hodnot výrazný a sklon regresní přímky je jen mírný.



Graf 20 a 21: Zobrazení závislosti první komponenty *PC1* v kombinaci s vysvětlujícími velikostními proměnnými *délkou* a *délko-výškovým poměrem*. Z grafů je patrné, že největší závislost se projevuje u proměnné *délko-výškový poměr* (DV poměr). *Délka* a *výška* jsou uvedeny v mm.



Grafy 22 až 24: Zobrazení závislostí první komponenty *PC1* v kombinaci s vysvětlujícími velikostními proměnnými. Z grafů je patrný mírný sklon a velký rozptyl hodnot. Parametr *plocha* je v mm^2 a *věk* je vyjádřen v letech.

V případě tvarového parametru *PC2* je situace jiná. Z grafů 26 až 30 je patrné, že *délko-výškový poměr* (graf 26) nevykazuje téměř žádnou spojitost s touto komponentou a srovnatelná závislost se ukazuje u všech zbylých čtyř proměnných. Rozptyl hodnot *PC2* v závislosti na *věku* je znatelně menší než v případě *PC1* a také sklon přímky je strmější. Tento tvarový parametr je tedy zjevně závislý na růstu lastury i věku jedince – proměňuje se s věkem a projevuje se vliv alometrie. Závislost je opět lineární. Výsledky z GLM modelu ukazují, že nejvhodnější kombinací velikostních parametrů pro hodnocení *PC2* je opět použití všech najednou, při kterém dosáhneme snížení rozptylu na 69%. Další srovnatelné kombinace jsou:

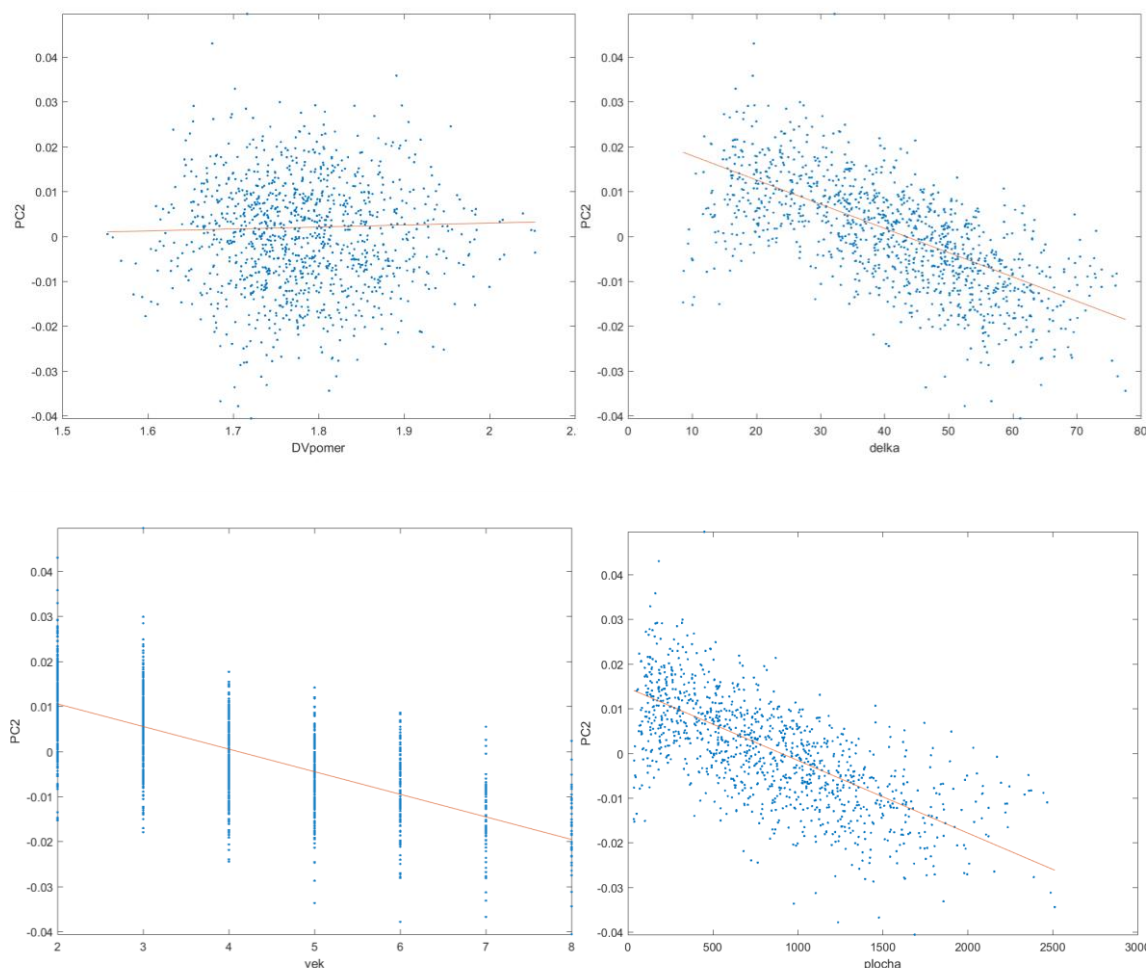
- *plocha* a *délko-výškový poměr* (snížení rozptylu na 70,9%)

- *délka* a *délko-výškový poměr* (snížení rozptylu na 71,6%),
- *výška* a *délko-výškový poměr* (snížení rozptylu na 71,7%),
- *výška* a *věk* (snížení rozptylu na 72%),
- *plocha* a *věk* (snížení rozptylu na 72,5%).

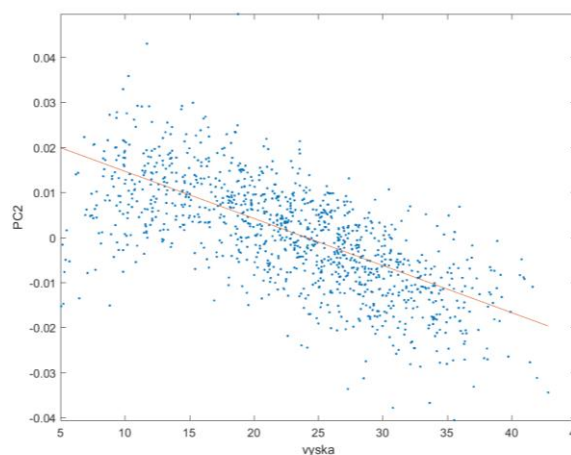
Pokud bychom chtěli použít pouze jednu vysvětlující proměnnou, získáme následující výsledky:

- pro *výšku* (snížení rozptylu na 74,5%)
- pro *plochu* (snížení rozptylu na 75,1%).

Matice kombinací je v příloze 4.

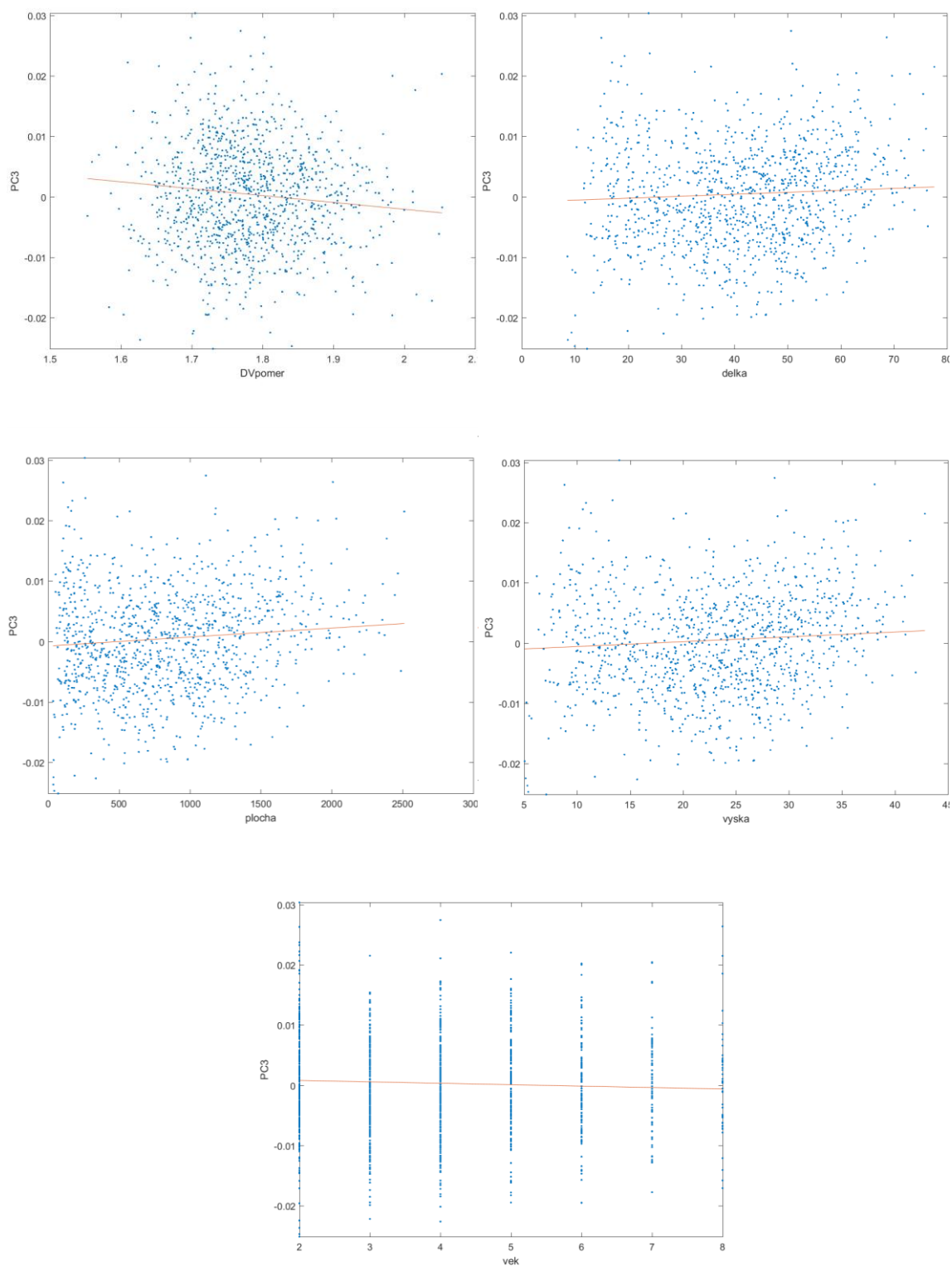


Grafy 26 až 29: Zobrazení závislosti první komponenty *PC2* v kombinaci s vysvětlujícími velikostními proměnnými. Z grafů je patrné, že závislost se projevuje obdobně u proměnných *délka* a *plocha*. Také trend pro parametr *věk* je srovnatelný. *Délka* a *výška* jsou uvedeny v mm, *věk* je vyjádřen v letech.



Graf 30: Zobrazení závislosti první komponenty $PC2a$ plochy (mm^2). Z grafu je patrné, že závislost se projevuje obdobně u proměnných *délka*, *výška* (viz grafy 27 a 29). Také trend pro parametr *věk* je srovnatelný.

Vzhledem k velmi nízké míře vysvětlení jakékoliv kombinace velikostních proměnných pro osu $PC3$ se dá konstatovat, že tato tvarová tendence je nezávislá. Z grafů (31 až 36) je patrné, že sklon všech regresních přímek je nevýrazný a rozložení hodnot spíše náhodné při jakékoliv kombinaci vysvětlujících velikostních proměnných. Také skutečnost, že nejlepšího hodnoty snížení rozptylu rezidují, které je možné různými kombinacemi velikostních proměnných dosáhnout, je jen o 4%, tedy na 96% z původního rozptylu. Nemá tedy význam dál s osou $PC3$ pracovat jako se závislou na velikostních parametrech.



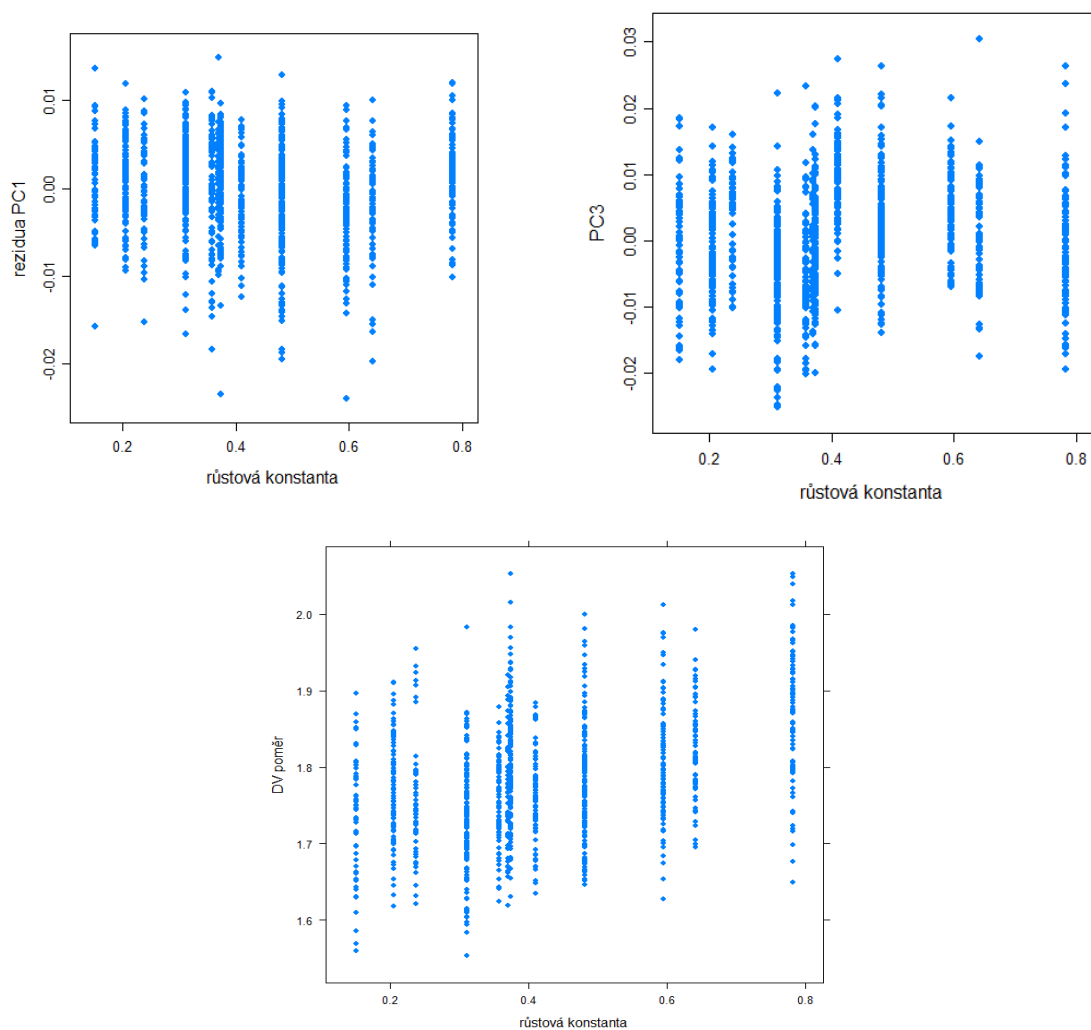
Grafy 31 až 36: Zobrazení závislosti první komponenty *PC3* v kombinaci s vysvětlujícími velikostními proměnnými. Z grafů je patrné, že rozložení hodnot je náhodné. *Délka* a *výška* jsou uvedeny v mm, *plocha* v mm² a *věk* je vyjádřen v letech.

6.4.1 Vztah růstu a tvarových parametrů

Vztah Bertalanffyho růstové konstanty, vyjadřující rychlost růstu na lokalitách a tvarových parametrů byl testován korelačními testy pro lineární závislost (Pearsonův korelační test). Výsledky ukazují slabou korelaci u reziduí *PC1* a *PC2*. U Osy *PC3* je také slabá lineární korelace (Pearson test), ale když byl použitý Spearmanův korelační test (pro nelineární závislost), výsledné hodnoty byly vyšší. DV poměr vykazuje silnou lineární korelaci s růstovou konstantou. Graf 38 pak ukazuje spíše nelineární závislost mezi *PC3* a Bertalanffyho růstovou konstantou. Nejsilněji korelovaný je v tomto případě *délko-výškový poměr* (viz graf 39).

Tvarová proměnná	Korelační koeficient	Pravděpodobnost (p value)
PC1 rezidua	-0.1132951 (Pearson)	0.0001363
PC3	0.1397509 (Pearson)	$2,4 \cdot 10^{-6}$
PC3	0.2084969 (Spearman)	$1,5 \cdot 10^{-12}$
DV poměr	0.3918049 (Pearson)	$2,2 \cdot 10^{-16}$

Tabulka 15: Přehled hodnot korelačních koeficientů mezi Bertalanffyho růstovou konstantou a tvarovými proměnnými. V tabulce je uveden korelační koeficient. Označení Pearson značí lineární korelaci, Spearman nelineární korelaci. Dále je uvedena pravděpodobnost, že spolu dané proměnné nekorelují.



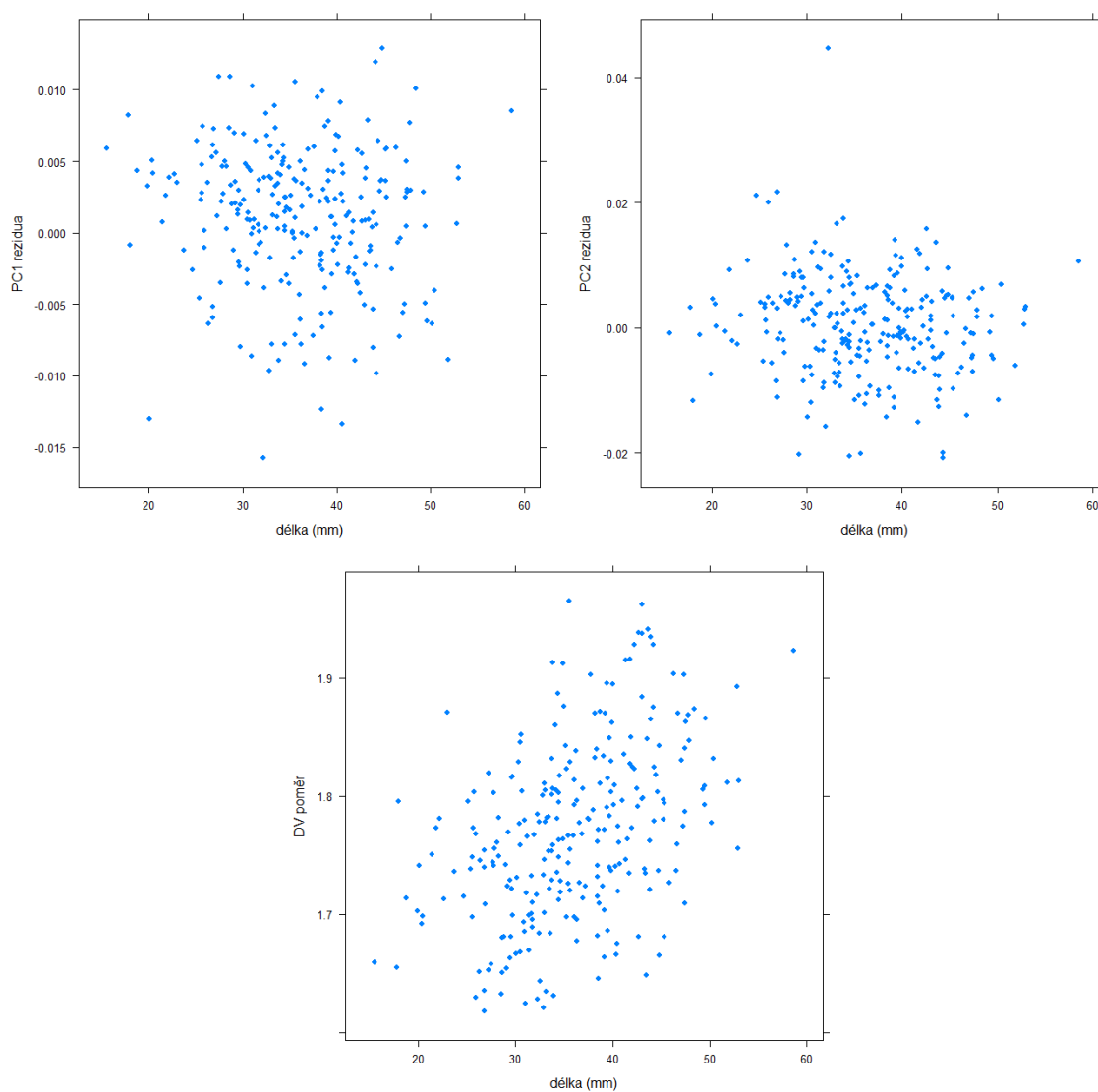
Grafy 37 až 39: Zobrazení korelace vybraných tvarových proměnných a Bertalanffyho růstové konstanty.

Vztah rychlosti růstu jedince (délka ve třetím roce) a tvarových proměnných také vykazuje korelace, i když poměrně slabé. Nejsilnější a zároveň jedinou lineární korelaci můžeme pozorovat u *délko-výškového poměru* (viz tabulka 16). Ostatní proměnné korelují s délkou ve třetím roce nelineárně. Uvedené vztahy jsou znázorněny v grafech 40 až 42. Vzhledem ke korelacím u všech tvarových parametrů a obou ukazatelů rychlosti růstu není možné potvrdit hypotézu číslo 3.

Tvarová proměnná	korelační koeficient	Pravděpodobnost (p value)
PC1 rezidua	-0.1248871 (Spearman)	0.04423
PC2 rezidua	-0.1248038 (Spearman)	0.04437
PC3	0.2248128 (Spearman)	0.2248128
DV poměr	0.4325848 (Pearson)	$2,8 \cdot 10^{-13}$

Tabulka 16: Přehled hodnot korelačních koeficientů mezi délkou ve třetím roce a tvarovými proměnnými.

V Tabulce je uveden korelační koeficient. Označení Pearson značí lineární korelaci, Spearman nelineární korelaci. Dále je uvedena pravděpodobnost, že spolu dané proměnné nekorelují.



Grafy 40 až 42: Zobrazení korelace vybraných tvarových proměnných a délky ve třetím roce (mm).

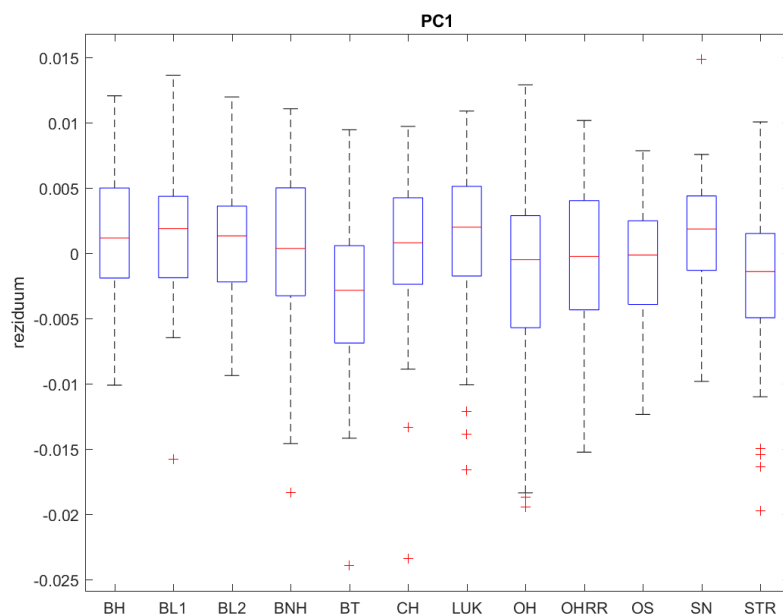
6.5 Hodnocení tvarové proměny v závislosti na lokalitě

Hypotézu číslo jedna „Tvar se na lokalitách neliší“ by nebylo možné spolehlivě ověřit, bez předchozích testů a hodnocení. Kdyby byly testovány pouze výsledky PCA analýzy bez dalších úprav, zcela jistě by výsledek byl, že se lokality tvarově odlišují. Tento výsledek by byl ale výrazně zkreslen vlivem rozdílnosti dat z jednotlivých lokalit (odlišný počet lastur a odlišný věk jedinců) a vlivem alometrie. Proto k posouzení tvarové odlišnosti lokalit slouží rezidua z předchozí analýzy, která popisuje závislost tvarových proměnných na všech velikostních proměnných zároveň. Toto se týká komponent *PC1*, *PC2* a *délko-výškového poměru*. Pro osu *PC3* byla použita data po procesu vážení (popsáno v kapitole 5.2), protože předchozí analýza ukázala, že tato komponenta je na velikostních proměnných nezávislá. Z grafů 44 a 45 je patrné, že rozdíly ve tvaru mezi lokalitami, po všech zmíněných úpravách dat, nejsou nijak markantní, přestože jsou signifikantní.

Zaměříme-li se na první hlavní komponentu *PC1*, z analýz vycházejí tyto signifikantní rozdíly: BH a BT ($p = 0,067 \cdot 10^{-4}$), BH a OH ($p = 0,01$), BH a STR ($p = 0,0001$).

Od uvedených tří lokalit BT, OH a STR se (stejně jako lokalita BH) liší také lokality BL1, BL2, CH, LUK. Dále jsou významně odlišné lokality: SN a STR ($p = 0,04$), SN a BT ($p = 0,001$), BNH a BT ($p = 0,01$).

Celá matice kombinací je k nahlédnutí v příloze 4.

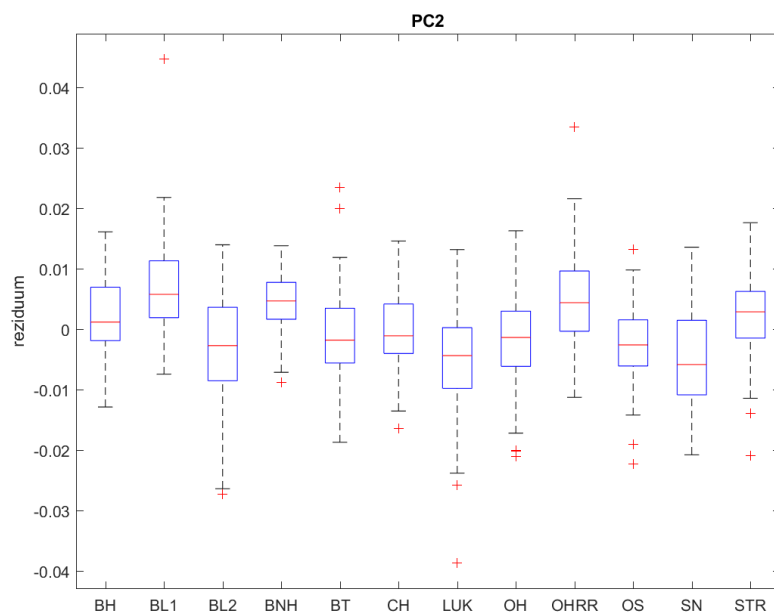


Graf 44: zobrazení výsledků testu analýzy rozptylu reziduí *PC1* na jednotlivých lokalitách. Pravděpodobnost shodného rozptylu $p = < 0,05$.

Pokud se podíváme na komponentu *PC2* (viz graf 45), vidíme, že rozptyl hodnot je větší než v případě první komponenty (viz graf 44). Také odlišnost lokalit má jinou strukturu a je zde patrných více rozdílů. Významně odlišné jsou lokality:

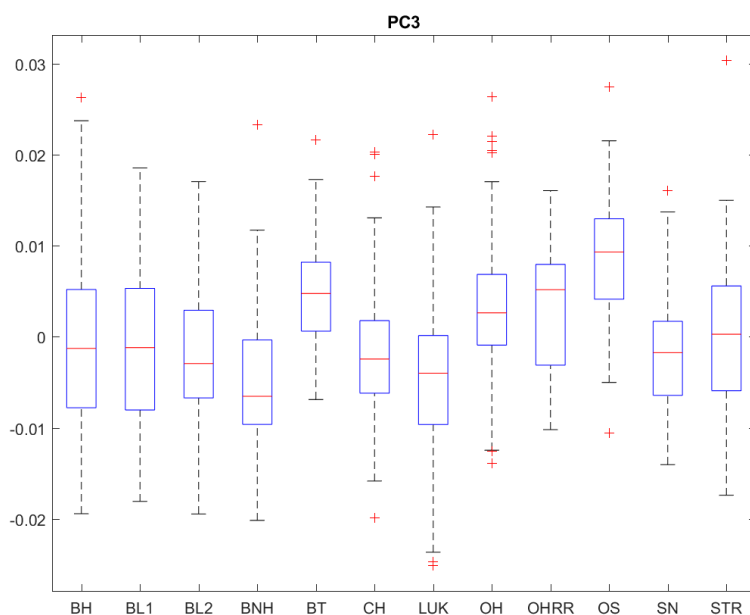
- BL1 a BL2 ($p = 2,2 \cdot 10^{-7}$)
- BL1 a LUK ($p = 2,2 \cdot 10^{-7}$)
- BL1 a OS ($p = 2,2 \cdot 10^{-7}$)
- BL 1 a SN ($p = 2,2 \cdot 10^{-7}$)

Se skupinou lokalit BL2, LUK, OS a SN se liší také lokality OHRR a BNH, které s výše uvedenou BL1 tvoří druhou skupinu. Další lokality BH, BT, CH, OH, a STR se s některými lokalitami liší a s jinými ne. Podrobná matice vzájemných odlišností je v příloze 4.



Graf 45: zobrazení výsledků testu analýzy rozptylu reziduí *PC2* na jednotlivých lokalitách. Pravděpodobnost shodného rozptylu $p = < 0,05$.

Komponenta *PC3* nebyla hodnocena v závislosti na velikostních proměnných. Také u této proměnné vycházejí signifikantní rozdíly mezi lokalitami. Lze vytvořit tři skupiny vzájemně odlišných lokalit: první skupina je složená z BL1, BL2, BNH, CH, LUK, a SN; druhou skupinu tvoří BT a OH; třetí skupina je jen z jedné lokality OS. Další lokality (STR, OHRR a BT) se nedají zařadit ani do jedné skupiny. Matice pravděpodobností je přiložená v příloze 4.

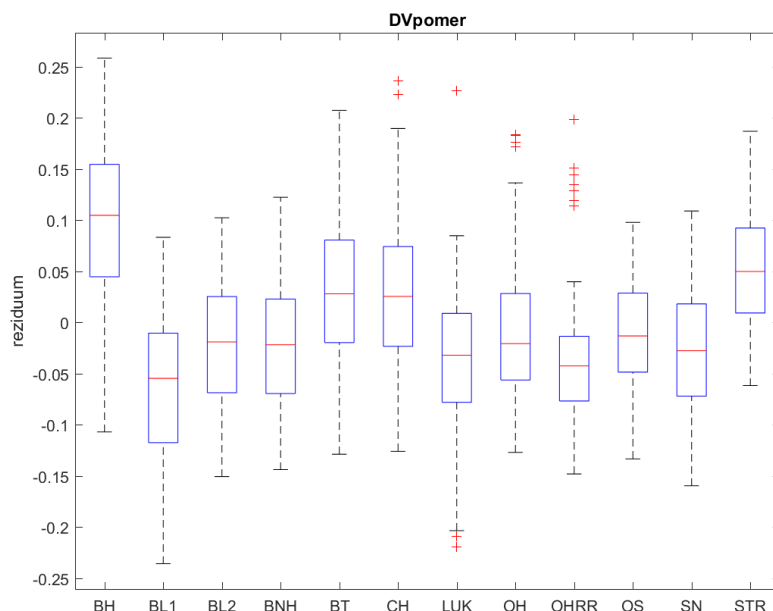


Graf 46: Zobrazení výsledků testu analýzy rozptylu vážených hodnot $PC3$ na jednotlivých lokalitách.

Pravděpodobnost shodného rozptylu $p = < 0,05$.

Parametr *délko-výškový poměr* (DVpomer) se ukázal být výrazně propojený s osami $PC1$ a $PC2$, protože vysvětluje velkou část jejich variability, coby rozměrový parametr v předchozích analýzách. Protože rezidua $PC1$ a $PC2$ již nenesou informaci o *délko-výškovém poměru* je tato proměnná zařazena také do dalších tvarových analýz.

Z grafu je patrné, že lokality mají jinou strukturu podobnosti. Lokalita BH je statisticky významně odlišná od všech ostatních lokalit. Samostatnou skupinu pak tvoří BL2, BNH, OHRR, OH, SN. Tyto lokality se liší od skupiny druhé, kde jsou lokality BT, CH, STR. Přechodnými lokalitami v tomto případě jsou BL1 a LUK. Vzájemné vztahy znázorňuje graf 47 a matice pravděpodobností v příloze 4.



Graf 47: Zobrazení výsledků testu analýzy rozptylu vážených hodnot *délko-výškového poměru* na jednotlivých lokalitách. Pravděpodobnost shodného rozptylu $p = < 0,05$.

Z výsledků vyplývá, že se liší tvar na jednotlivých lokalitách a hypotézu číslo jedna není možné potvrdit. Nicméně některé lokality mají společné výsledky napříč testy tvarových nebo rozměrových parametrů. Lokality „Blanice Znosim“ BL2 a „Lukavecký potok“ LUK nevyšly v testech ani jednou, jako rozdílné.

V případě pouze tvarových proměnných můžeme napříč analýzami vysledovat, že lokality BL2, LUK a SN ani v jednom případě nejsou prokazatelně odlišné. Další páry lokalit jsou

odlišné v *délko-výškovém poměru*, v testech hodnot reziduí *PC1*, reziduí *PC2* a *PC3* se ale ani jednou neodlišují. Jedná se o lokality:

- BT+OH
- BL2+CH
- BL1+BNH
- BH+CH (neliší ani ve velikostních parametrech)

6.5.1 Hodnocení tvarové proměny v závislosti na lokalitě a rychlosti růstu jedinců

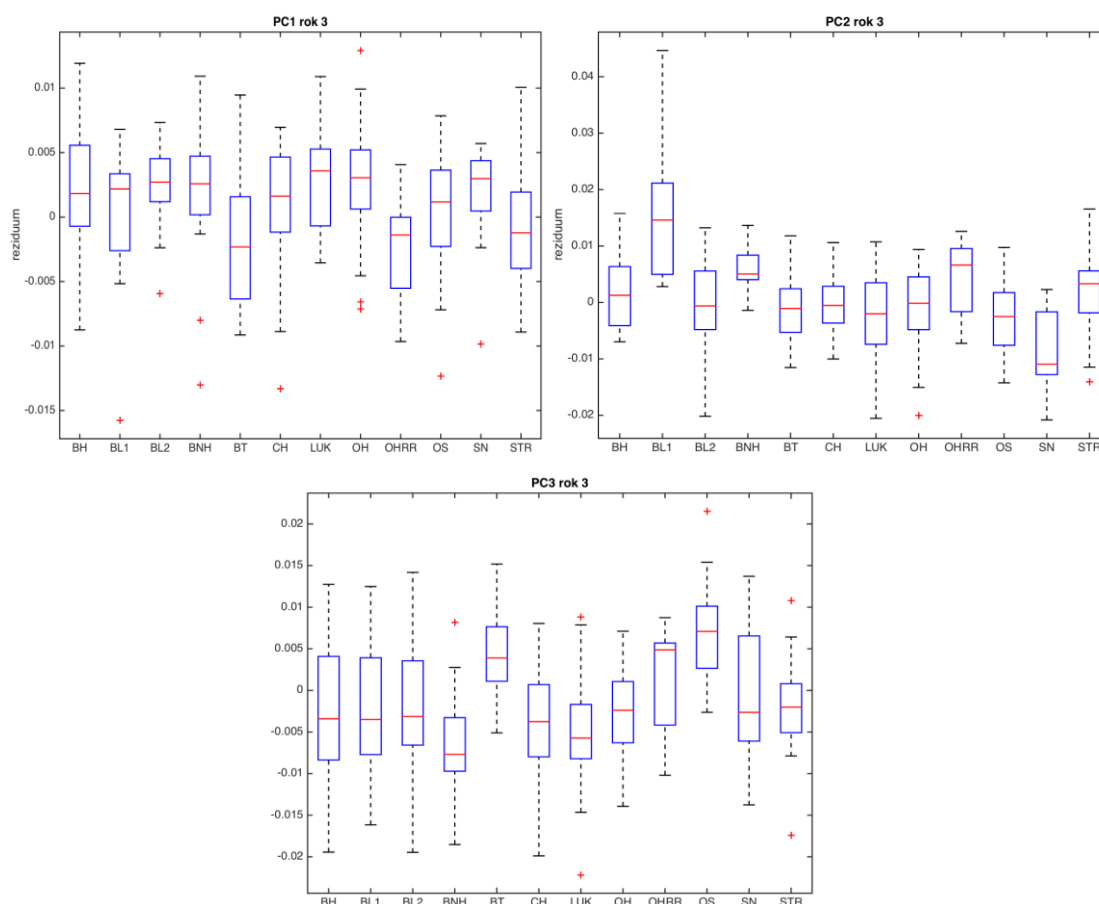
Pro hodnocení tvarové závislosti na lokalitě dle rychlosti růstu jedinců byly použity hodnoty pouze ze třetího roku. Z předchozí analýzy velikosti ve třetím roce byly vytvořeny dvě skupiny lokalit dle rychlosti růstu. Lokality s rychlým růstem jsou: BH, BT, CH, OH, OS, SN, STR; a lokality s pomalým růstem jsou: BL1, BL2, BNH, LUK, OHRR.

Pokud tyto dvě skupiny porovnáme s výsledky testu ANOVA s tvarovými proměnnými, můžeme vidět, že se příliš neshodují. Lokality charakterizované jako pomalu rostoucí mohou nabývat velmi odlišných tvarových charakteristik (např. rezidua osy *PC2* pro BL1 a BL2)

Pro osu *PC1* jsou odlišné signifikantně odlišné pouze lokality BT a OHRR od lokalit OH a LUK (pravděpodobnostní hodnoty se pohybují od $p = 0,05$ do $p = 0,004$).

Pro osu *PC2* výsledky ukazují tři výrazné lokality. První z nich, lokalita BL1 se signifikantně liší od všech ostatních. Druhá specifická lokalita je BNH, která se odlišuje od lokalit LUK, OH, OS a SN. Třetí výrazně jinou lokalitou je SN a liší se od lokalit BH, BL1, BNH, CH, OHRR a STR.

Pro osu *PC3* Jsou výrazně odlišné dvě lokality od většiny dalších lokalit. Lokalita BT se liší od BH, BL2, BNH, CH, LUK a OH. Druhá výrazná lokalita OS se liší od BL1, BL2, BNH, CH, LUK, OH, SN a STR. Všechny ostatní lokality u všech tří tvarových proměnných se od sebe vzájemně významně neliší (viz grafy 48 až 50). Matice pravděpodobností je v příloze 4.



Grafy 48 až 50: Zobrazení výsledků testů analýzy rozptylu tvarových proměnných ve třetím roce na jednotlivých lokalitách. Pravděpodobnost shodného rozptylu $p = < 0,05$. Grafy zobrazují medián a 1,5 násobek mezikvartilového rozpětí.

6.6 Hodnocení souvislosti tvaru a parametrů lokalit

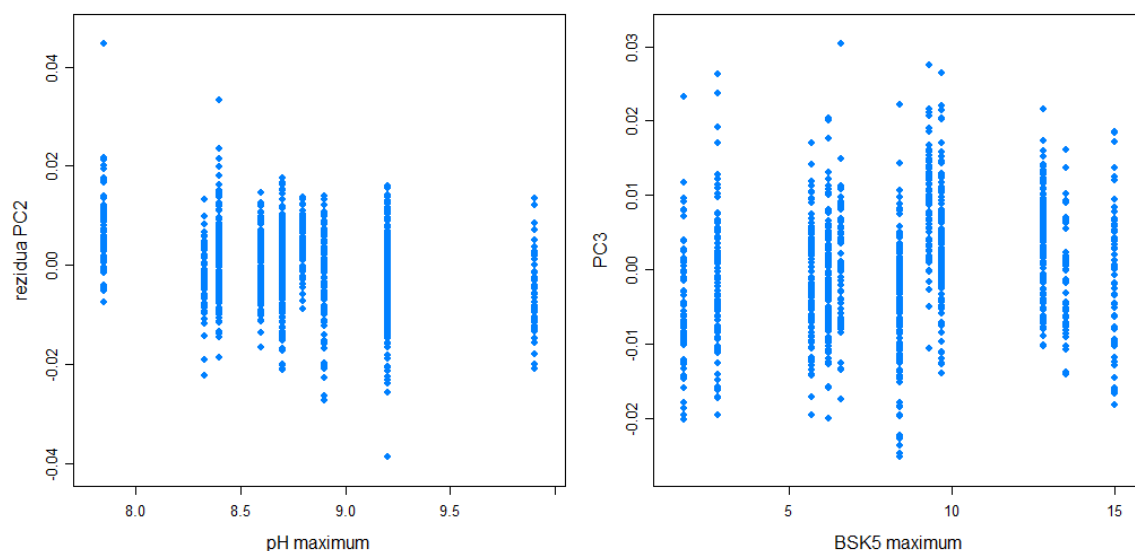
Hodnoty reziduí *PC1* a *PC2* většinou nejsou korelovány žádným fyzikálním ani chemickým parametrem, které byly pro tuto práci k dispozici. Výjimkou je komponenta *PC2*, jejíž rezidua korelují s parametrem *pH maximum*. Naopak hodnoty osy *PC3* vykazují korelaci s více ukazateli. V případě parametru *teplota maximum* je tato závislost lineární (byl použit Personův korelační test), u dalších parametrů se jedná o nelineární závislost (bylo testováno Spearmanovým korelačním testem).

Jako další tvarový parametr je testován také *délko-výškový poměr* (DVpoměr), který v předchozích testech vyšel, jako ukazatel vysvětlující 75% rozptylu hodnot na ose *PC1*. Protože se nadále testovala rezidua PC os, je *délko-výškový poměr* přidán do některých analýz jako tvarový parametr, aby nedošlo ke ztrátě informací, které jsou v něm obsaženy. Konkrétní hodnoty korelací tvarových a environmentálních ukazatelů jsou uvedeny v tabulce 17. Vybrané grafy 51 až 60 ukazují průběh těchto závislostí.

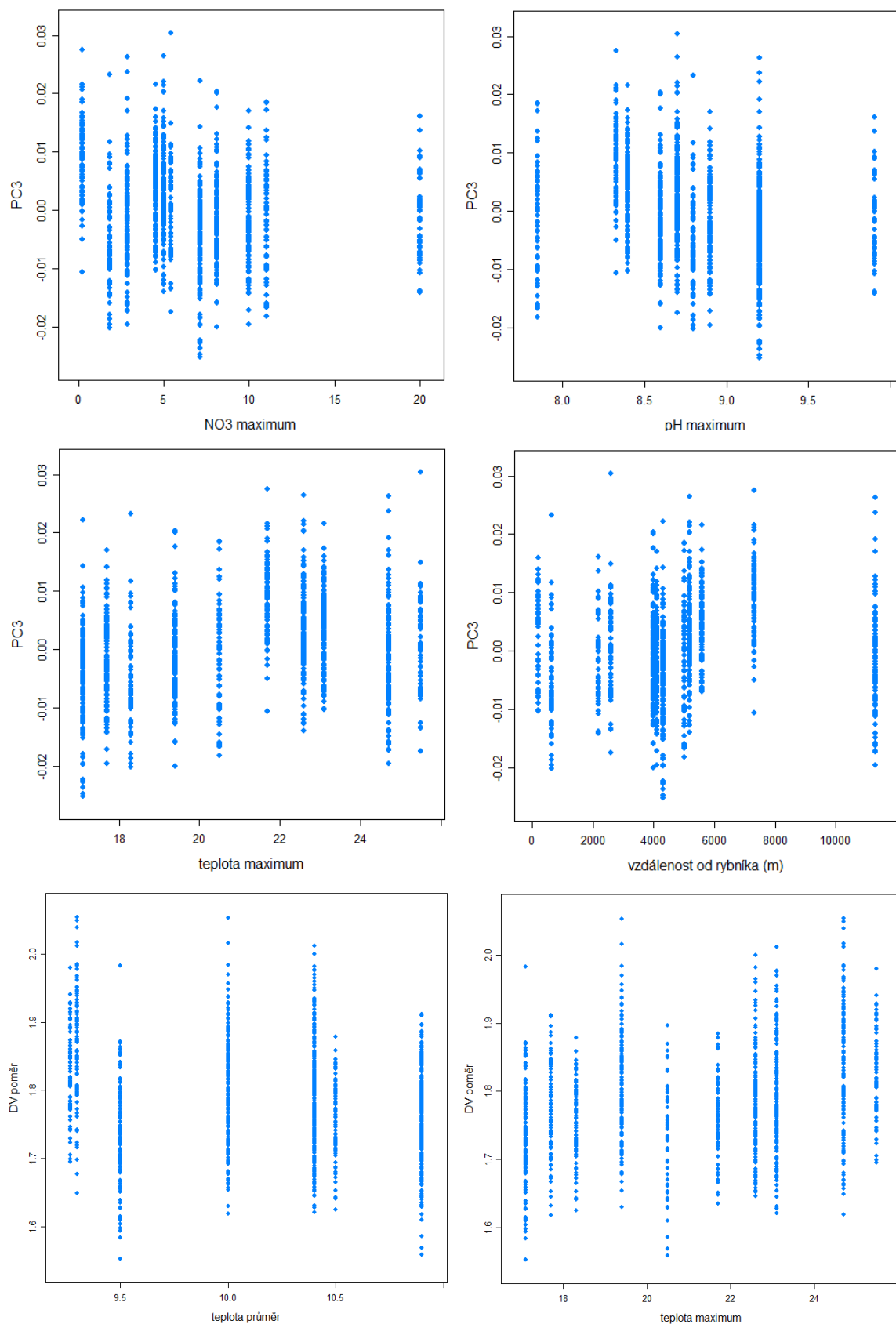
Tvarová proměnná	Korelovaná proměnná	Pearsonův korelační koeficient	Pravděpodobnost (p value)
PC2 rezidua	pH maximum	-0.2437835	$2,2 \cdot 10^{-16}$
PC3	Teplota maximum	0.2616513	$2,2 \cdot 10^{-16}$
DV poměr	Teplota průměr	-0.1940754	$4,8 \cdot 10^{-11}$
DV poměr	Teplota maximum	0.2656376	$2,2 \cdot 10^{-16}$
DV poměr	Vzdálenost od rybníka	0.2621828	$2,2 \cdot 10^{-16}$
Spearmanův korelační koeficient			
PC3	BSK ₅ maximum	0.2479391	$2,2 \cdot 10^{-16}$
PC3	NO ₃ maximum	-0.2199674	$7,8 \cdot 10^{-14}$
PC3	Vzdálenost od rybníka	0.2376765	$5,9 \cdot 10^{-16}$
PC3	pH maximum	-0.29879	$2,2 \cdot 10^{-16}$
DV poměr	BSK ₅ průměr	-0.2558685	$2,2 \cdot 10^{-16}$

Tabulka 17: Přehled hodnot korelačních koeficientů mezi faktory prostředí a tvarovými proměnnými.

V Tabulce je uveden korelační koeficient. Označení Pearson značí lineární korelaci, Spearman nelineární korelaci. Dále je uvedena pravděpodobnost, že spolu dané proměnné nekorelují.

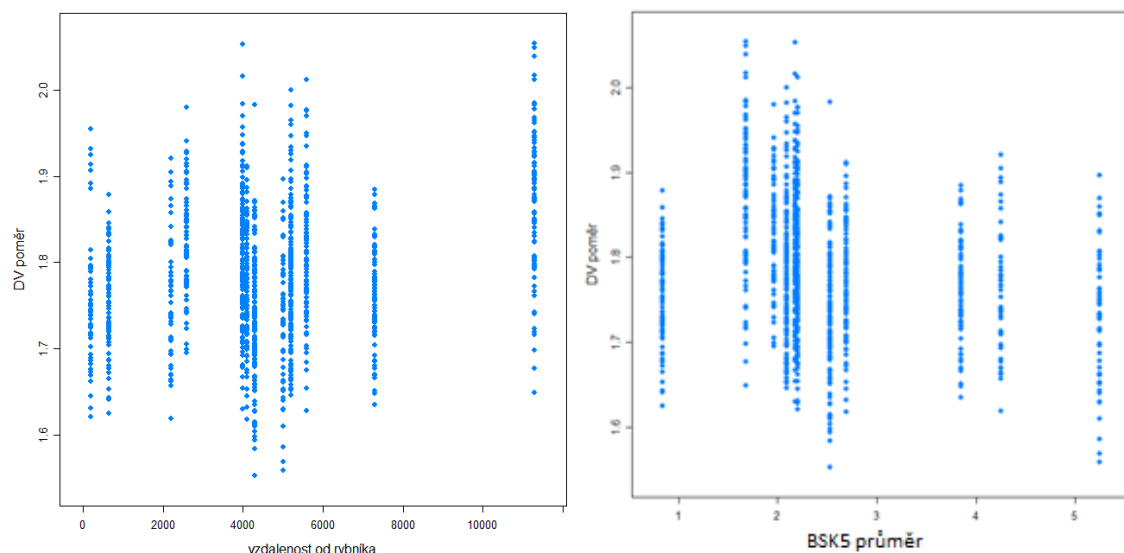


Grafy 51 a 52: Zobrazení korelace tvarových proměnných s faktory prostředí. Faktor *pH maximum* vykazuje negativní korelaci s reziduály hodnot *PC2*. *BSK₅ maximum* (mg/l) koreluje s hodnotami *PC3* pozitivně.



Grafy 53 až 58: Zobrazení korelace tvarových proměnných s faktory prostředí. Faktory *pH maximum*, *N-NO₃ maximum* (mg/l), *teplota průměr* (°C) a vykazují negativní korelaci s příslušnou tvarovou proměnnou.

Vzdálenost od rybníka (m) a *teplota maximum* (°C) korelují s příslušnou proměnnou pozitivně.



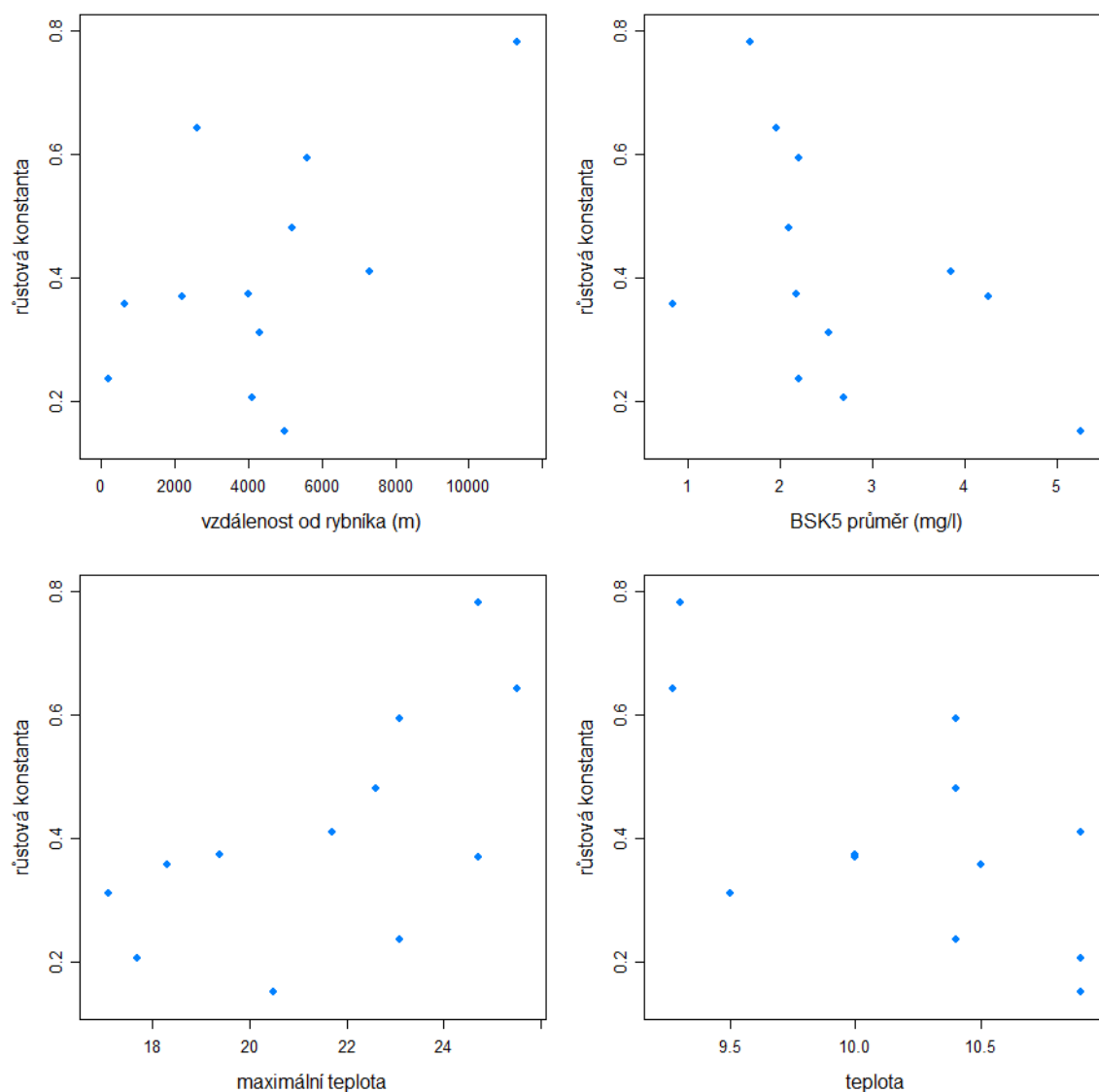
Grafy 59 až 60: Zobrazení korelace tvarových proměnných s faktory prostředí. *BSK₅ průměr* (mg/l) vykazuje negativní korelaci s *délko-výškovým poměrem*. *Vzdálenost od rybníka* (m) koreluje pozitivně s *délko-výškovým poměrem*.

Dále byla testována lineární závislost mezi faktory prostředí a Bertalanffyho růstovou konstantou, vypočítanou pro každou lokalitu zvlášť. Tabulka 18 obsahuje přehled korelačních koeficientů. Nejsilnější pozitivní korelace je pozorována u parametru *Teplota maximum*, naopak u parametru *Teplota průměr* je poměrně silná negativní korelace. Další výrazně pozitivně korelovaný faktor je *Vzdálenost od rybníka* a negativní závislost pozorujeme u *BSK₅ průměr*. Grafy 61 až 64 ukazují vybrané silně korelované proměnné.

proměnná korelovaná s Bertalanffyho růstovou konstantou	Pearson korelační koeficient	Pravděpodobnost (p value)
Vzdálenost od rybníka	0.5822211	$2,2 \cdot 10^{-16}$
BSK ₅ průměr	-0.4555062	$2,2 \cdot 10^{-16}$
BSK ₅ maximum	-0.2611792	$2,2 \cdot 10^{-16}$
Konduktivita průměr	-0.1279616	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Konduktivita maximum	-0.0279497	0.3481
N-NO ₃ průměr	-0.4386546	$2,2 \cdot 10^{-16}$
N-NO ₃ maximum	-0.4300785	$2,2 \cdot 10^{-16}$
Celkový P průměr	-0.3581456	$2,2 \cdot 10^{-16}$
Celkový P maximum	-0.3433362	$2,2 \cdot 10^{-16}$
pH průměr	0.02831818	0.3418

pH maximum	0.1593058	$7,4 \cdot 10^{-8}$
Teplota průměr	-0.5139211	$2,2 \cdot 10^{-16}$
Teplota maximum	0.7034629	$2,2 \cdot 10^{-16}$

Tabulka 18: Přehled hodnot korelačních koeficientů mezi faktory prostředí a Bertalanffyho růstovou konstantou. V Tabulce je uveden Pearsonův korelační koeficient pro lineární závislost. Dále je uvedena pravděpodobnost, že spolu dané proměnné nekorelují. Nejsilněji koreluje a *teplota maximum*.



Grafy 61 až 64: Zobrazení korelace Bertalanffyho růstové konstanty s faktory prostředí. Zobrazeny jsou čtyři nejvýraznější závislosti. *BSK₅ průměr* (mg/l) a *teplota průměr* (°C) vykazují závislost negativní. *Teplota maximum* (°C) a *vzdálenost od rybníka* (m) korelují pozitivně.

Poslední hodnocené vztahy jsou mezi tvarovými proměnnými PC a nadmořskou výškou. Pozorujeme slabší závislosti, pro rezidua *PC1* pozitivní a pro rezidua *PC2* a hodnoty *PC3* negativní. Nejvyšší hodnota korelačního koeficientu (podobně jako u předchozích testů) byla zaznamenána u komponenty *PC3* (viz tabulka 19).

Korelované s nadmořskou výškou	Pearson korelační koeficient	Pravděpodobnost (p value)
PC1 rezidua	0.1540391	$1,98 \cdot 10^{-7}$
PC2 rezidua	-0.1130956	0.00014
PC3	-0.3126395	$2,2 \cdot 10^{-16}$
DV poměr	-0.2388624	$4,7 \cdot 10^{-16}$

Tabulka 19: Přehled hodnot korelačních koeficientů mezi tvarovými proměnnými a nadmořskou výškou. V Tabulce je uveden Pearsonův korelační koeficient pro lineární závislost. Dále je uvedena pravděpodobnost, že spolu dané proměnné nekorelují.

7 Diskuze

Zhodnocení postupu vyhodnocování dat

Každá z používaných metod analýzy tvaru má svá pozitiva a také přináší některé problémy. Pro tuto práci jsem zvolila eliptickou Fourierovu analýzu obrysu (EFA). Tvar velevruba tupého (*Unio crassus*) je jednoduchý a na lastuře není příliš mnoho jasných bodů pro umístění landmarků. Některé lastury navíc již neměly dobře zachovány jizvy na vnitřní straně lastury, také mnoho lastur mělo poškozené zámkové zuby. V tomto případě se EFA jevila jako vhodnější metoda, která popisuje detailně celý obrys a umožňuje snadnou zpětnou vizualizaci. Tato metoda také umožňuje naplnit první hlavní cíl – fotografie pro analýzu obrysu se dá snadno získat, a to i na živém jedinci.

Dalším hlavním cílem této práce bylo nalézt způsob, jak dostatečně ošetřit vliv alometrie při tvarové analýze. Výsledky prokázaly, že hodnoty os PC1 a PC2 jsou závislé na růstu, protože se proměňují spolu s věkem a velikostními parametry. Bylo tedy skutečně potřeba pro další analýzy ošetřit vliv alometrie. Toho bylo docíleno využitím GLM a porovnáním odlišnosti reziduí. Do modelu byly zahrnuty všechny rozměrové proměnné (*délka, výška, věk, plocha a délko-výškový poměr*), čímž se dosáhlo snížení největšího podílu variability v porovnání s ostatními kombinacemi (u PC1 o 77%, u PC2 o 31%). Dále se ukázalo, že v tomto případě existují také jiné srovnatelné kombinace velikostních proměnných. Použití například pouze dvou vysvětlujících proměnných je výhodné, protože je možné data znázornit v trojrozměrných grafech.

Z analýz v GLM modelu vyplývá, že pro osu PC1 je nejvíce vysvětlující proměnnou *délko-výškový poměr* (snižuje rozptyl reziduí na 25%). To znamená, že právě *délko-výškový poměr* tvoří největší část z variability hodnot osy PC1. Z tohoto důvodu byl následně *délko-výškový poměr* zařazen do dalších analýz, jako tvarová proměnná, protože rezidua PC1 již nenesla jeho informaci o variabilitě. Zbylých 25% variability se týká jiné tvarové charakteristiky, která je v hodnotách osy PC1 obsažená. Protože vztah *délky, výšky a délko-výškového poměru* je lineární, je nepravděpodobné, že se zbylých 25% variability hodnot osy PC1 také týká *délky a výšky*. Také je nepravděpodobné, že se jedná o pozůstatek odlišnosti průběhu vysvětlujících proměnných v GLM modelu. Výhodou tohoto postupu je zcela jednoznačné identifikování velké části variability. Nevýhodou však je, že zbylou tvarovou charakteristiku obsaženou v ose PC1 již není možné dodatečně graficky

znázornit. Pro hodnoty osy *PC2* byla nejvíce vysvětlující samostatnou proměnnou výška, srovnatelně vysvětlující ale jsou také věk, plocha a délka. Přestože ošetření alometrie pomocí všech pěti proměnných výrazně snížilo rozptyl variability, ukázaly se rozdíly mezi lokalitami jako signifikantní.

Vhodnou kombinací pro ošetření alometrie s cílem co nejjednodušší analýzy se jeví použití věku, délky a výšky, jako vysvětlujících proměnných v GLM modelu pro všechny analyzované osy. V literatuře jsou kromě těchto zmíněných velikostních proměnných používány také jiné ukazatele velikosti – například velikost centroidu (Costa, a další, 2008; Minton, a další, 2008). Přestože cest jak ošetřit vliv alometrie je mnoho, postup v této práci se zdá být obecně vhodný pro hodnocení tvaru mlžů, protože je funkční i při velmi rozmanitém složení vzorků. Mohou se při něm projevit závislosti různých velikostních parametrů a umožňuje individuální přístup k datovému souboru při zachování srovnatelnosti výsledků.

Charakteristika růstu

Testy závislosti velikostních proměnných na věku ukázaly, že většina parametrů projevuje nelineární závislost (vyjma *délko-výškového poměru*). V případě závislosti *délky* a *výšky* na *věku* se jedná o průběh, který nejlépe popisuje křivka třetí odmocniny. Jedná se tedy o rychlé zvětšování *délky* v prvních letech, které se postupně zpomaluje. Obdobný průběh vztahu *délky* na *věku* popisuje (Seed, 1973), který navíc uvádí odlišnost sklonu této křivky mezi lokalitami, což je shodné s výsledky této práce. Vzájemný vztah *délky* a *výšky* má v uvedené studii víceméně lineární průběh, který se na konci stáčí do roviny (průběh podobný křivce třetí nebo druhé odmocniny), ale při logaritmicko-logaritmickém měřítku je téměř lineární (Seed, 1973). Odlišný průběh alometrie mezi lokalitami je často pozorovaným jevem, na kterém se podílejí také environmentální faktory (Blanchette, a další, 2007; Blythe, a další, 2008; Harley, 2011; Guarneri, a další, 2014). V některých studiích alometrie vysvětluje většinu vnitrodruhové variability (Guarneri, a další, 2014), ale v této diplomové práci se i přes ošetření alometrie prokázaly signifikantní rozdíly mezi lokalitami.

Závislost *plochy* na *věku* opisuje křivku druhé odmocniny. Rozdíl v absolutních hodnotách mezi druhým a osmým rokem tedy není tak markantní jako v případě závislosti *délky*, nebo *výšky* na *věku*. Průběh závislosti *délko-výškového poměru* na *věku* je lineární s mírným sklonem. Tyto charakteristiky popisují proměnu růstu a částečně i tvaru, kdy jednak se růst s přibývajícím věkem zpomaluje a za druhé se mění tvar ze spíše „oválných“

dvouletých jedinců na „protáhle elipsovité“ osmileté jedince. Jednoznačně tedy v tomto případě působí vliv alometrie. Podobný průběh proměny tvaru je popsán v práci (Seed, 1973)

Kromě vlivu alometrie výsledky prokázaly odlišnosti v rychlosti růstu na jednotlivých lokalitách. Dle *délky* ve třetím roce (která slouží v této práci jako ukazatel rychlosti růstu jedince) lze lokality rozdělit na dvě skupiny. Tyto skupiny se liší zhruba 10 mm mezi průměrnými délkami (průměr a medián se výrazně neliší). Toto rozdělení přiměřeně koresponduje se zjištěnými hodnotami Bertalanffyho růstových konstant a také s výsledky ANOVA testů pro *délku* v závislosti na *věku* a lokalitách. Lokalita „Bečva Hranice“ BH má největší růstovou konstantu, největší délko-výškový poměr a největší průměrnou délku ve třetím roce. Naopak nejpomaleji rostoucí lokalitou je „Blanice Skřýšov“ BL1, která má nejmenší hodnotu růstové konstanty a délko-výškového poměru, ale rezidua délky v závislosti na věku nejsou nejnižší.

Lokality s rychlým růstem	Lokality s pomalým růstem
„Bečva Hranice“ BH	„Blanice Skřýšov“ BL1
„Bystřice Třesovice“ BT	„Blanice Znosim“ BL2
„Chumava“ CH	„Bečva Hovězí náhon“ BNH
„Ohře Hostěnice“ OH	„Lukavecký potok“ LUK
„Odra Suchdol nad Odrou“ OS	„Ohře Radovesice“ OHRR
„Sázava Nespeky“ SN	
„Bečva Náhon Strhanec“ STR	

Tabulka 19: Rozdělení lokalit dle rychlosti růstu

Snaha najít parametry, ve kterých jsou si lokality z uvedených skupin podobné, nebyla v tomto případě úspěšná. Rozptyl hodnot pro lokality s pomalým růstem je velký u každého parametru, včetně nadmořské výšky i vzdálenosti od rybníka. Zdá se tedy, že rychlost růstu možná není ovlivněna žádným z chemických, fyzikálních a dalších parametrů (viz tabulka 13 a příloha 3), které jsou pro tuto práci k dispozici, nebo by k prokázání závislosti bylo potřeba pracovat s výrazně větším počtem lokalit, mezi kterými by byly markantnější rozdíly.

Zajímavé je porovnání výsledků testů lokalit, které jsou na stejné řece. Jedná se o lokality na řece Ohři (OH, OHRR), Blanici (BL1 a BL2) a Bečvě (BH, STR, BNH). Vyjma srovnání lokalit u parametrů výšky a plochy, jsou lokality z Blanice vždy ve stejné skupině

a nabývají nižších hodnot – patří mezi lokality s pomalým růstem jedinců. Naopak lokality na Ohři jsou pokaždé v jiné skupině a jejich velikostní a růstové parametry jsou odlišné, přestože je odděluje jen 10 říčních kilometrů. Jedinci z lokality OH, která je níž po proudu, rostou rychleji a u všech velikostních parametrů nabývají vyšších hodnot oproti lokalitě OHRR. Lokality na řece Bečvě BH a STR jsou vždy ve stejné skupině s podobnými hodnotami (rychlý růst a větší velikosti). Od nich se odlišuje třetí lokalita BNH, která se nachází na Vsetínské Bečvě výrazně výš proti proudu a vykazuje pomalý růst a malé rozměry.

Při výzkumu variability mlžů v řece Temži vyšla růstová konstanta podobná mezi přístavy a v proudu řeky, přestože rozdíly délky v pátém roce mezi těmito lokalitami byly signifikantní. Obecně pak měli jedinci všech čtyř zkoumaných druhů v přístavu větší velikost než ti z řeky (Zieritz, a další, 2009). Je tedy možné, že velikostní a růstové rozdíly mezi lokalitami ovlivňují také časté příčné překážky (zvláště v případě Ohře). Jezy a hráze výrazně mění charakter stanoviště, které se pak více podobá ekosystému stojatých vod (podobně jako přístavy).

Ontogenetické změny, jako je proměna růstu do *délky*, *výšky*, nebo *šířky*, mohou být také spojené se změnou životního stylu, kdy jsou juvenilní jedinci zahrabaní a vyhovuje jim jiný tvar než dospělcům (Thayer, 1975, citováno v Gaspar, a další, 2002). U některých druhů schopnost hrabání klesá v průběhu ontogeneze, může ale být také ovlivněna charakteristikou prostředí a reálnou potřebou jedinců se opakovaně zahrabávat. To ovlivňuje kromě charakteristiky růstu také poměry stran a tvar (Gaspar, a další, 2002). Bohužel pro obdobné prediktory nejsou dostupná data pro zkoumané lokality a tak není možné jejich vliv nijak ověřit. To ovšem neznamená, že právě tyto faktory prostředí nemohou být za tvar zkoumaných mlžů odpovědné a bylo by tedy vhodné provést další studie.

Charakteristika tvaru

Komponenta *PC1* popisuje protaženost/kulatost a vysvětluje zhruba 69% celkové variability datasetu. Po upravení v GLM modelu bylo od této osy odděleno 75% variability, která byla charakterizována jako *délko-výškový poměr*. Tento poměr byl dále analyzován, jako ostatní tvarové proměnné. Osa *PC2* popisuje vyklenutí dorsální strany lastury v přední části a vysvětluje 12% celkové variability všech obrysů. Poslední komponenta *PC3* jde těžko popsat, ale v podstatě se také jedná o vyklenutí na různých místech po obvodu lastury. Tato osa popisuje 5,7% variability datasetu. Co se týká

odlišnosti lokalit, byly prokázány signifikantní rozdíly u všech hodnot tří PC os i u *délko-výškového poměru* a první nulová hypotéza, kladená v úvodu této práce, nebyla potvrzena. Zieritz, a Aldridge (2009) uvádí odlišný výsledek pro hodnoty osy PC3. V případě studie mlžů na Temži osa PC3 nereflektuje rozdíly mezi populacemi, ale uvnitř populací a neodlišuje řeku od přístavu. Výsledky této studie se tedy neshodují, protože v této diplomové práci byl prokázán signifikantní rozdíl mezi lokalitami i pro parametr PC3.

U každé zkoumané tvarové proměnné se dají z výsledků sestavit skupiny lokalit, uvnitř kterých nejsou lokality signifikantně odlišné. Zároveň se všechny lokality odlišují od lokalit z rozdílné skupiny. Kromě dvou až tří základních odlišných skupin zůstává vždy několik „přechodných“ lokalit, jejichž hodnoty jsou odlišné pouze od některých lokalit ve skupinách a s jinými se shodují. Zajímavé ale je, že napříč tvarovými proměnnými bylo možné vysledovat dvojice, nebo trojice lokalit, které v žádné analýze tvaru nevyšly signifikantně rozdílné. Dají se tedy pokládat za tvarově velmi příbuzné.

Nejpodobnější jsou si lokality „Blanice Znosim“ BL2 a „Lukavecký potok“ LUK, které v testech nevyšly ani jednou, jako rozdílné. Lokality „Bečva Hranice náhon“ BH a „Chumava“ CH se shodují ve všech tvarových parametrech a ve většině velikostních parametrů. Liší se pouze v jednom parametru a to je *délko-výškový poměr*. V případě pouze tvarových proměnných můžeme napříč analýzami vysledovat, že lokality BL2, LUK a SN nejsou ani v jednom případě prokazatelně odlišné.

Porovnáme-li parametry těchto vzájemně podobných lokalit, vidíme, že lokality BL2 a LUK jsou si podobné nízkou Bertalanffyho konstantou, *vzdáleností od rybníka*, a hodnotami chemických parametrů *BSK₅*, *Pcelk.* a *pH*. Naopak odlišné jsou věkovým průměrem jedinců, průměrnou velikostí, maximální velikostí, *nadmořskou výškou*, *teplotou*, a hodnotami *konduktivity* a *N-NO₃*.

Lokality BH a CH se odlišují v Bertalanffyho růstové konstantě, velikosti jedinců i průměrném stáří analyzovaných lastur. Liší se také svou *vzdáleností od rybníka*. Jediné v čem se ve vstupních datech shodují, je počet analyzovaných lastur. S chemicko-fyzikálními parametry je situace velmi podobná. Srovnatelné hodnoty vykazují obě lokality jen u parametru *BSK₅* a *Pcelk.* a *nadmořské výšky*.

Vzhledem k tomu, že ani jeden z uvedených parametrů nevychází jako výrazný signifikantní prediktor pro většinu tvarových charakteristik, bylo by zajímavé hledat příčinu tvarové podobnosti těchto párů a jedné trojice lokalit. Vyžadovalo by to

pravděpodobně detailní rozbor faktorů prostředí, včetně charakteristiky proudění vody, typu sedimentu a většího množství chemických látek. Zajímavé by také bylo genetické srovnání tvarově podobných lokalit, protože jsou často geograficky značně vzdálené.

Odlišnost tvaru v závislosti na rychlosti růstu

Při zkoumání souvislostí mezi tvarem a růstovou rychlostí (Bertalanffyho růstovou konstantou) se ukázalo, že zde existuje závislost, přestože není příliš silná. Korelační testy prokázaly lineární korelaci u všech hodnot PC os. Hodnoty osy *PC3* vykazují jako silnější nelineární korelace. Nejsilnější lineární korelaci pozorujeme u *délko-výškového poměru*.

Parametr rychlosti růstu jedince (*délka* ve třetím roce života) vykazuje slabší nelineární korelaci s hodnotami os *PC1* a *PC2*. O něco výraznější vztah existuje u parametru *PC3*. Nejsilněji je korelovaná proměnná *délko-výškový poměr*, která jako jediná vykazuje lineární závislost na délce ve třetím roce.

Propojení tvaru a charakteristiky lokalit

K tématice souvislosti tvaru a určitých vlastností prostředí je k dispozici poměrně velké množství studií, které byly představeny už v úvodní části této práce. Přesto tato problematika není zdaleka uspokojivě objasněna. Vzhledem k velmi malému počtu lokalit bohužel není možné vyvodit v rámci této části diplomové práce solidní a statisticky podložené závěry. Proto také cíle týkající se tohoto tématu spadají do cílů vedlejších. Prezentované výsledky je vhodné interpretovat opatrně s přihlédnutím k těmto nedostatkům. I přes malou početnost zkoumaných lokalit však lze v datech vysledovat náznak jistých trendů.

Nejčastější signifikantní korelaci s parametry prostředí vykazují hodnoty osy *PC3*. Závislost, která není lineární, se projevuje ve spojení s parametry uvádějícími maximální hodnoty parametru na dané lokalitě – *BSK₅ maximum*, *pH maximum*, *NO₃ maximum*. Dále pozorujeme závislost *PC3* se vzdáleností lokality od rybníka, který je potenciálním zdrojem potravy. Tato závislost je rovněž nelineární. Lineární korelaci ukázaly výsledky ve spojení *PC3* a parametru *teplota maximum*. Nutné je v tomto případě podotknout, že ačkoliv nejčastěji pozorujeme závislost hodnot osy *PC3*, tato osa vysvětluje jen cca 5% celkové tvarové variability lastur. Tato výraznější závislost může být ovlivněna tím, že osa *PC3* na rozdíl od os *PC1* a *PC2* není závislá na velikostních parametrech a tudíž se v korelačních testech pracuje s variabilitou v původním rozsahu. S *délko-výškovým poměrem* je také spojen trend některých parametrů prostředí. Podle testů korelace je DV poměr negativně závislý na *nadmořské výšce*, *BSK₅* a parametru *teplota průměr*. Naopak

pozitivní korelaci popisují výsledky v případě proměnných *teplota maximum* a *vzdálenost od rybníka*.

Zdá se tedy, že existuje trend, kdy se s bližší vzdáleností mezi lokalitou a rybníkem zvyšuje *délko-výškový poměr* a jedinci jsou protáhlejší. Je tedy možné, že voda vytékající z rybníka je zdrojem určitého typu potravy, nebo jinak ovlivňuje lokalitu, nacházející se po proudu toku. Toto zjištění může být podobné jako v případě studie (Zieritz, a další, 2009), kteří uvádějí, že přístavní jedinci byli mnohem protáhlejší, než ti z řeky. Zároveň tvrdí, že *délko-výškový poměr* byl ovlivněn více faktory prostředí, ale i dalšími okolnostmi (pohlaví, napadení parazity apod.). Proměna *délko-výškového poměru* se také ukázala jaké druhově variabilní. Prodloužení přístavních forem bylo patrné nejvíce u *Unio pictorum*, mírně pro *Anodonta anatina* ale nebylo patrné pro *Unio tumidus*. Dále je také známo, že většina mlžů se stává vyššími a širšími kvůli výraznému vlivu turbulencí vody, vedoucím k opakovanému náhodnému přemísťování (Eagar, 1978; Hinch, a další, 1988; Gaspar, a další, 2002).

Z výsledků korelačních testů reziduí os *PC1* a *PC2* nevyplynula žádná významná souvislost s parametry prostředí, což je v rozporu ze zjištěním (Zieritz, a další, 2009), kteří uvádějí, že největší závislost s podmínkami prostředí vykazuje osa *PC1*. Tato odlišnost výsledků může být způsobena tím, že v případě této práce je značná část variability osy *PC1* separována jako parametr *délko-výškový poměr*, který vykazuje větší závislost na parametrech prostředí. Výjimkou je parametr *pH maximum*, který slabě negativně koreluje s reziduály hodnot osy *PC2*. Tato skutečnost může být dále zapříčiněna malým množstvím dat (malý počet zkoumaných lokalit), nebo malými rozdíly mezi lokalitami (ať už tvarovými, nebo environmentálními). Je také možné, že v tomto případě se jedná spíše o přímý vztah mezi podmínkami prostředí a průběhem alometrie. Dle dostupné literatury záleží tvarová variabilita na biotických a abiotických faktorech (Trussell, 2002; Laudien, a další, 2003; Pascoal, a další, 2012), jako je třeba rychlost proudění (Trussell, 2002), vlnobití (Boulding, a další, 1999), hloubka (Claxton, a další, 1998), typ sedimentu (Newell, a další, 1982; Hornbach, a další, 2010), pohlaví a napadení parazity (Zieritz, a další, 2011). Takové informace ale pro tuto studii nebyly k dispozici. Je tedy možné, že ty nejdůležitější prediktory nebyly v rámci této studie odhaleny. Problematika hledání konkrétního faktoru odpovědného za konkrétní tvar ale i v dalších studiích dává protichůdné výsledky (Guarneri, a další, 2014).

Parametr *pH* měl v několika studiích významný vliv na tvar a růst. Při nízkém *pH* a vyšší teplotě byly plži *Littorina* menší hmotnosti s kratšími schránkami, než ti, co rostli v běžných podmínkách (Melatunan, a další, 2013). Podobně na zvyšující se aciditu reagovala *Crassostrea* (Beniash, a další, 2010; Lannig, a další, 2010), a larvy rodu *Mytilidae* (Gazeau, 2010). Ve zde popisované studii jsou extrémní hodnoty *pH* (parametr *pH maximum*) spojeny se změnami hodnot na osách *PC2* a *PC3*. Co se týká Bertalanffyho růstové konstanty, parametr *pH maximum* je slabě pozitivně korelovan. Naopak *pH průměr* nevykazuje s Bertalanffyho růstovou konstantou žádnou korelaci.

Výsledky dále naznačují, že vztah mezi parametry prostředí a rychlostí růstu je skutečně patrný i u dalších ukazatelů. Při testování Bertalanffyho růstové konstanty a environmentálních parametrů se ukázala korelace téměř pokaždé. Výjimkou jsou pouze parametry *konduktivita maximum* a již zmíněný *pH průměr*. Velmi zajímavý je fakt že nejsilnější pozitivní korelaci vykazuje parametr *teplota maximum*, kdežto *teplota průměr* koreluje silně negativně s rychlostí růstu. Můžeme se tedy domnívat, že dlouhodobě vysoké teploty růstu mlžů neprospívají a mohou být například spojeny s dalšími procesy, které vedou k poklesu rozpuštěného kyslíku ve vodě, nebo značí nevhodnou potravu, nebo znečištění oteplenými městskými vodami. Občasné vysoké teploty mohou být pro růst zřejmě prospěšné. Je známo, že mlži potřebují občasné vysoké teploty například pro úspěšné rozmnožování a přeměnu glochidií na juvenilní jedince (Yeager, a další, 1995; Roberts, a další, 1999). Několik studií uvádí, že velikost souvisí s teplotou a potravou (Grier, 1920, citováno Zieritz, a další, 2009; Negus, 1966; Ghent, a další, 1978). V místech, kde jsou vyšší teploty, mají mlži delší sezónu pro růst a rychlejší metabolismus (Mann, 1965, citováno v Zieritz, a další, 2009). Tento závěr ale příliš neodpovídá silné negativní korelaci mezi růstovou konstantou a průměrnými teplotami, která byla prokázána v této diplomové práci.

Další poměrně výrazně korelované ukazatele jsou *vzdálenost od rybníka*, *BSK₅ průměr*, *NO₃ průměr* a *NO₃ maximum*. Situace tedy ani tentokrát není příliš přehledná. Zdá se, že předpoklad společného vlivu vícero faktorů na rychlost růstu a tvar je správný. Pokud je ovšem správný také předpoklad, že tvar je výsledkem procesu růstu (Béguinot, 2014) a pokud v tomto případě koreluje růstová konstanta s proměnnými charakteru prostředí, měla by se korelace projevit také přímo mezi tvarem a prostředím, což se v této práci projevuje jen u osy *PC3* a *delko-výškového poměru*. Navíc jsou tyto korelace poměrně slabé. Jediným se všemi tvarovými proměnnými korelovaným faktorem je *nadmořská výška*. Ta slabě koreluje se všemi třemi PC osami i *delko-výškovým poměrem*

napříč lokalitami. Vzhledem k malému počtu lokalit ale nelze tento výsledek brát jako obecně platný.

Velmi zvláštní je skutečnost, že lokality „Ohře Radovesice“ OHRR a „Ohře Hostěnice“ OH, které jsou nejbližšími lokalitami ve výběru (cca 10 říčních km) a zároveň jejich chemické parametry a teplota jsou téměř shodné, vykazují odlišnou Bertalanffyho růstovou konstantu i tvarové vlastnosti na všech osách. Jediné, čím se z dostupných parametrů výrazně odlišují, je *vzdálenost od rybníka*, která je u lokality OHRR pouze 200 metrů. Lokalita OHRR ale má růstovou rychlost menší, než lokalita OH, což zase odporuje pozitivní korelaci Bertalanffyho růstové konstanty a parametru *vzdálenosti od rybníka*. V tomto případě je tedy možné, že obě lokality mají jinou kvalitu potravy, nebo je lokalita OHRR zatížena jiným faktorem, pro který nejsou dostupná data. Také ostatní lokality ze stejných toků vykazují rozdíly ať už v rychlosti růstu, nebo v tvarových parametrech.

Závěry z této části práce potvrzují, že morfometrické vztahy jsou velmi variabilní v závislosti na druhu a geografické oblasti (Gaspar, a další, 2002). Tato problematika se jeví jako málo objasněná.

8 Závěr

Studie zhodnotila tvar lastur a dalších individuálních charakteristik druhu *Unio crassus* na 12 lokalitách. Pro testy a analýzy bylo použito celkem 1129 obrysů, které byly získány z 260 lastur tím, že se analyzovaly jednotlivé zimní růstové linie. Velká část práce řešila problematiku vlivu alometrie na tvar a hledala vhodný způsob ošetření dat, což bylo také jedním z hlavních cílů práce. Všechny cíle se, dle mého názoru, podařilo naplnit a studie ukázala zajímavé výsledky.

Fourierova eliptická analýza se ukázala jako vhodný nástroj pro hodnocení tvaru lastur mlžů. Využití zimní růstových linií prokázalo velký potenciál pro morfometrické analýzy. Výsledky ukazují, že osy PC1 a PC2 jsou závislé na růstu. Vliv alometrie byl následně ošetřen hodnocením reziduálních hodnot získaných pomocí zobecněného lineárního modelu (generalized linear model - GLM).

Vhodnou kombinací pro obecné ošetření alometrie se jeví použití věku a délky a výšky, současně jako vysvětlujících proměnných v GLM modelu pro všechny analyzované tvarové proměnné. Tento postup je poměrně jednoduchý, stejně jako získání těchto tří velikostních parametrů. V této práci byly do modelu přidány ještě proměnné plocha a délko-výškový poměr.

Ani jedna ze stanovených nulových hypotéz nemohla být potvrzena, protože výsledky ukazují signifikantní rozdíly mezi lokalitami ve všech hodnocených parametrech. Dále z výsledků vyplývá statisticky významná odlišnost mezi lokalitami v proměnných vyjadřujících rychlost růstu. Pro třetí hypotézu z výsledků vychází, že ukazatele rychlosti růstu jsou korelované s tvarovými proměnnými.

Lokality lze rozdělit na dvě skupiny, které se odlišují svou rychlostí růstu (Bertalanffyho růstovou konstantou, délkou ve třetím roce a délkou relativní na věku a lokalitě). Tyto skupiny se liší zhruba 10 mm mezi průměrnými délkami.

Nejpodobnější jsou si lokality „Blanice Znosim“ BL2 a „Lukavecký potok“ LUK, které v testech nevyšly ani jednou, jako rozdílné. Lokality „Bečva Hranice náhon“ BH a „Chumava“ CH se shodují ve všech tvarových parametrech a ve většině velikostních parametrů. Liší pouze v délko-výškovém poměru. Uvedené páry lokalit jsou si ze všech faktorů prostředí podobné pouze v parametru BSK₅ a celkovém fosforu.

V rámci této práce byly stanoveny také vedlejší cíle, které se také podařilo naplnit. Závěry analýz tvaru a faktorů prostředí nejsou zcela jednoznačné, což je zřejmě zapříčiněno malým počtem hodnocených lokalit.

9 Reference

- LIFE-Natur. 2002.** Informace k projektu LIFE-Natur č. LIFE2002NAT/D/8458 Velcí mlži. *LIFE-Natur projekt na ochranu perlorodky říční a Velevruba tupého v Trojmezí Bavorsko - Sasko - Česko*. [Online] [Citace: 12. 10 2015.]
http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE02_NAT_D_008458_LAYMAN_CZ.pdf.
- Ackerman, Josef Daniel, a další. 1994.** A review of the early life history of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): comparisons with marine bivalves. *Canadian Journal of Zoology*. 1994, 72.7, stránky 1169-1179.
- AOPK.** Leták ministerstva životního prostředí. *Velevrub tupý (Unio crassus) poklad našich vod*. [Online] [Citace: 5. 10 2015.]
http://www.nature.cz/publik_syst2/files08/velevrub_tupy.pdf.
- Aguirre, M. L., Richiano, S., Álvarez, A., Farinati, E. A. 2015.** Reading shell shape: implications for palaeoenvironmental reconstructions. A case study for bivalves from the marine Quaternary of Argentina (south-western Atlantic). *Historical Biology*. 2015, stránky 1-21.
- Anthony, J. L., Kesler, D. H., Downing, W. L., Downing, J. A. 2001.** Length-specific growth rates in freshwater mussels (Bivalvia: Unionidae): extreme longevity or generalized growth cessation? *Freshwater Biology*. 2001, 46.10, stránky 1349-1359.
- Anwar, N. A., Richardson, C. A., Seed, R. 1990.** Age determination, growth rate and population structure of the horse mussel *Modiolus modiolus*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 1990, 70.02, stránky 441-457.
- AOPK1.** Souhrn doporučených opatření pro evropsky významnou lokalitu Dolní Sázava. [Online] [Citace: 20. 9 2015.]
<http://strednicechy.ochranaprirody.cz/res/archive/239/030052.pdf?seek=1436432153>.
- AOPK2.** Některé vodní toky Středních Čech. *Chumava*. [Online] [Citace: 1. 10 2015.]
<http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/nekte-re-vodni-toky-strednich-cech/chumava/>.

- Béguinot, Jean. 2014.** Covarying Shell Growth Parameters and the Regulation of Shell Shape in Marine Bivalves: A Case Study on Tellinoidea. *Journal of Marine Biology*. 2014.
- Beniash, Elia, a další. 2010.** Elevated level of carbon dioxide affects metabolism and shell formation in oysters *Crassostrea virginica*. *Marine Ecology Progress Series*. 2010, 419, stránky 95-108.
- Beran, Luboš. 2007.** Příspěvek k poznání vodních měkkýšů Vsetínské Bečvy a okolí (Česká republika). *Malacologica Bohemoslovaca*. 2007, 6, stránky 38-47.
- Beran, Luboš. 2013.** Vodní měkkýši Ohře u Hostěnic. [Online] 2013. [Citace: 20. 9 2015.] http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX1VMSzgyOF9wcmlsb2hhRG9rdW1lbnRhY2VET0NfNzU0Mjk0OTYzODg0MzA5MjMzNy5wZGY/ULK828_prilohaDokumentaceDOC_2.pdf.
- Blanchette, C. A., Helmuth, B. a Gaines, S. D. 2007.** Spatial patterns of growth in the mussel, *Mytilus californianus*, across a major oceanographic and biogeographic boundary at Point Conception, California, USA. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 340.2, 2007, stránky 126-148.
- Blythe, J. N. a Lea, D. W. 2008.** Functions of height and width dimensions in the intertidal mussel, *Mytilus californianus*. *Journal of Shellfish Research*. 2008, 27.2, stránky 385-392.
- Bogan, A. E. 2008.** Global diversity of freshwater bivalves (Mollusca:Bivalvia) in freshwater. *Hydrobiologia*. 2008, 595, stránky 139-147.
- Bogan, Artur E. 1993.** Freshwater bivalve extinctions (Mollusca: Unionoida): a search for causes. *American Zoologist*. 1993, 33.6, stránky 599-609.
- Bookstein, Fred L. 1997.** Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group differences in outline shape. *Medical image analysis*. 1997, 1.3, stránky 225-243.
- Boulding, Elizabeth G., Holst, Meike a Pilon, Vicki. 1999.** Changes in selection on gastropod shell size and thickness with wave-exposure on northeastern pacific shores. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 1999, 232.2, stránky 217-239.

Cabral, João Paulo a da Silva, Armando Coelho F. 2003. Morphometric analysis of limpets from an Iron-Age shell midden found in northwest Portugal. *Journal of Archaeological Science*. 2003, 30.7, stránky 817-829.

Caill-Milly, Nathalie, a další. 2014. Morphological Trends of Four Manila Clam Populations (*Venerupis philippinarum*) on the French Atlantic Coast: Identified Spatial Patterns and Their Relationship to Environmental Variability. *Journal of Shellfish Research*. 2014, 33.2, stránky 355-372.

Campbell, Greg. 2015. “We want to go, where everyone knows, mussels are all the same...”: a comment on some recent zooarchaeological research on *Mytilus californianus* size prediction. *Journal of Archaeological Science*. 2015, 63, stránky 156-159.

Castonguay, Martin, Simard, P., Gagnon, P. 1991. CASTONGUAY, Martin; SIMARD, Patrick; GAGNON, Pierre. Usefulness of Fourier analysis of otolith shape for Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) stock discrimination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1991, 48.2, stránky 296-302.

Cataldo, Daniel, a další. 2005. Temperature-dependent rates of larval development in *Limnoperna fortunei*(bivalvia: mytilidae). *Journal Molluscan Studies*. 2005, 71.1, stránky 41-46.

Claxton, Trevor W., a další. 1998. A genetic and morphological comparison of shallow- and deep-water populations of the introduced dreissenid bivalve *Dreissena bugensis*. *Canadian Journal of Zoology*. 1998, 76.7, stránky 1269-1276.

Costa, Corrado., a další. 2008. Shape analysis of different populations of clams in relation to their geographical structure. *Journal of Zoology*. 2008, 276.1, stránky 71-80.

Costa, Corrado, a další. 2010. External shape differences between sympatric populations of commercial clams *Tapes decussatus* and *T. philippinarum*. *Food and Bioprocess Technology*. 2010, 3.1, stránky 43-48.

Crampton, James S. 1995. Elliptic Fourier shape analysis of fossil bivalves: some practical considerations. *Lethaia*. 1995, 28.2, stránky 179-186.

Dalziel, Benjamin a Boulding, Elizabeth G. 2005. Water-borne cues from a shell-crushing predator induce a more massive shell in experimental populations of an intertidal snail. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2005, 317.1, stránky 25-35.

Debat, Vincent, a další. 2003. Allometric and nonallometric components of *Drosophila* wing shape respond differently to developmental temperature. *Evolution*. 2003, 57.12, stránky 2773-2784.

Douda, Karel a Beran, Luboš. 2009. Ochrana vevrubu tupého v České republice. *Časopis Ochrana přírody*. 2009.

Douda, Karel. 2007. The Occurrence and Growth of *Unio crassus* (Mollusca: Bivalvia: Unionidae) in Lužnice River Basin in Respect to Water Quality. *Acta Universitatis Carolinae-Environmentalica*. 2007, 21, stránky 57-63.

Douda, Karel, a další. 2014. Host compatibility as a critical factor in management unit recognition: population-level differences in mussel–fish relationships. *Journal of Applied Ecology*. 2014, 51.4, stránky 1085-1095.

Douda, Karel, Horký, Pavel a Bílý, Michal. 2012. Host limitation of the thick-shelled river mussel: identifying the threats to declining affiliate species. *Animal Conservation*. 2012, 15.5, stránky 536-544.

Eagar, R. M. C. 1978. Shape and function of the shell: A comparison of some living and fossil bivalve molluscs. *Biological Reviews*. 1978, 53.2, stránky 169-210.

EKOBAU. 2006. Hodnocení dopadů na soustavu NATURA 2000. *Úprava odtokového kanálu pod MVE Nespeky na Sázavě*. [Online] 2006.
http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX1NUQzU1M19vem5hbWVuaURPQ18xLnBkZg/STC553_oznameni.pdf.

Frieß, Martin a Baylac, Michel. 2003. FRIEß, Martin; BAYLAC, Michel. Exploring artificial cranial deformation using elliptic Fourier analysis of Procrustes aligned outlines. *American Journal of Physical Anthropology*. 2003, 122.1, stránky 11-22.

Gagnon, Jean-Marc, a další. 2015. Morphological and genetic variation in North Atlantic giant file clams, *Acesta* spp. (Bivalvia: Limidae), with description of a new cryptic species in the north-west Atlantic. *Zootaxa*. 2015, 4007.2, stránky 151-180.

Gaspar, Miguel B., a další. 2002. Shell morphometric relationships of the most common bivalve species (Mollusca: Bivalvia) of the Algarve coast (southern Portugal). *Hydrobiologia*. 2002, 477.1-3, stránky 73-80.

- Gazeau, F. P. H. a další. 2010.** Effect of ocean acidification on the early life stages of the blue mussel *Mytilus edulis*. *Biogeosciences*. 2010, 7.
- Ghent, Athur W., Singer, Robert a Johnson-Singer, Lucinda. 1978.** Depth distributions determined with SCUBA, and associated studies of the freshwater unionid clams *Elliptio complanata* and *Anodonta grandis* in Lake Bernard, Ontario. *Canadian Journal of Zoology*. 1978, 56.8, stránky 1654-1663.
- Gordillo, S., a další. 2011.** Shell variability in *Tawera gayi* (Veneridae) from southern South America: a morphometric approach based on contour analysis. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 2011, 91.04, stránky 815-822.
- Gould, Stephen Jay. 1996.** Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biol. Rev.* 1996, stránky 587-640.
- Graf, Daniel L a Cummings, Kevin S. 2007.** Review of the systematics and global diversity of freshwater mussel species (Bivalvia, Unionida). *Journal of Molluscan Studies*. 2007, 73.4, str. 291.
- Graf, Daniel L. 2013.** Patterns of Freshwater Bivalve Global Diversity and the State of Phylogenetic Studies on the Unionoida, Sphaeriidae, and Cyrenidae. *American Malacological Bulletin*. 2013, 31.1., stránky 135-153.
- Grier, Norman McDowell. 1920.** Morphological features of certain mussel-shells found in Lake Erie, compared with those of the corresponding species found in the drainage of the Upper Ohio. 1920.
- Guarneri, Irene, a další. 2014.** A morphometric and genetic comparison of *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) populations: does shape really matter? *Aquatic Invasions*. 2014, 9.2, stránky 183-194.
- Gutiérrez, Jorge L, Jones, C. G. a Strayer, David L. 2003.** Mollusks as ecosystem engineers: the role of shell production in aquatic habitats. *Oikos*. 2003, 101, 1, stránky 79-90.
- Haas, Fritz. 1940.** A tentative classification of the Palearctic unionids. místo neznámé : Field Museum of Natural History, 1940.
- Harley, Christopher DG. 2011.** Climate change, keystone predation, and biodiversity loss. *Science*. 2011, 334.6059, stránky 1124-1127.

- Havlik, Marian E. a Marking, Leif L. 1987.** Effects of contaminants on naiad mollusks (Unionidae): a review. *Fish and Wildlife Service Washington DC*. 1987.
- Hendriks, Iris E., a další. 2012.** Relative growth rates of the noble pen shell *Pinna nobilis* throughout ontogeny around the Balearic Islands (Western Mediterranean, Spain). *Journal of Shellfish Research*. 2012, 31.3, stránky 749-756.
- Hinch, Scott G a Bailey, R. C. 1988.** Within-and among-lake variation in shell morphology of the freshwater clam *Elliptio complanata* (Bivalvia: Unionidae) from south-central Ontario lakes. *Hydrobiologia*. 1988, 157.1, stránky 27-32.
- Hornbach, Daniel J., Kurth, Valerie J. a Hove, Mark C. 2010.** Variation in freshwater mussel shell sculpture and shape along a river gradient. *The American Midland Naturalist*. 2010, 164.1, stránky 22-36.
- Hus, M., a další. 2006.** Occurrence of *Unio crassus* (Bivalvia, Unionidae) depending on water chemistry in the foreland of the Polish Carpathians. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2006, 15.1, str. 169.
- Huxley, J. S. a Tessier, G. 1936.** Terminology of relative growth. *Nature*. 1936, 137, stránky 780-781.
- Innes, D. J. a Bates, J. A. 1999.** Morphological variation of *Mytilus edulis* and *Mytilus trossulus* in eastern Newfoundland. *Marine Biology*. 1999, 133.4, stránky 691-699.
- Inoue, Kentaro, a další. 2014.** Molecular phylogenetics and morphological variation reveal recent speciation in freshwater mussels of the genera *Arcidens* and *Arkansia* (Bivalvia: Unionidae). *Biological Journal of the Linnean Society*. 2014, 112.3, stránky 535-545.
- Iwata, H. a Ukai, Y. 2002.** SHAPE: a computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. *Journal of Heredity*. 2002, 93, stránky 384-385.
- Jones, C. G., Lawton, J. H. a Shachak, M. 1997.** Positive and negative effects of organisms as ecosystem engineers. *Ecology*. 1997, 78, stránky 1946-1957.
- Jones, C. G., Lawton, J. H. a Shachak, M. 1996.** Organisms as ecosystem engineers. *Ecosystem managemet*. 1996, stránky 130-147.

- Kendall, David G. 1977.** The diffusion of shape. *Advances in applied probability*. 1977, stránky 428-430.
- Kimura, T. a Sekiguchi, H. 1996.** Effects of temperature on larval development of two mytilid species [*Musculista senhousia* and *Limnoperna fortunei*] and their implication. *Japanese Journal of Malacology*. 1996.
- Kornobis, S. 1977.** Ecology of *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Dreissenidae, Bivalvia) in lakes receiving heated water discharges. . *Ecology of Dreissena polymorpha* (Pall.) (Dreissenidae, Polski Archiwum Hydrobiologh. 1977, 24.4, stránky 531-545.
- Kotta, J., Orav, H., Kotta, I. 1998.** Distribution and filtration activity of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, in the Gulf of Riga and the Gulf of Finland. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Biology Ecology*. 1998, stránky 32-41.
- Krapivka, Sebastián, a další. 2007.** Shell-shape variation along the latitudinal range of the Chilean blue mussel *Mytilus chilensis* (Hupe 1854). *Aquaculture Research*. 2007, 38.16, stránky 1770-1777.
- Lannig, Gisela, a další. 2010.** Impact of ocean acidification on energy metabolism of oyster, *Crassostrea gigas*—changes in metabolic pathways and thermal response. *Marine drugs*. 2010, 8.8., stránky 2318-2339.
- Laudien, J., Brey, T a Arnitz, W. E. 2003.** Population structure, growth and production of the surf clam *Donax serra* (Bivalvia, Donacidae) on two Namibian sandy beaches. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2003, 58, stránky 105-115.
- Leonard, George H., Bertness, Mark D. a Yund, Philip O. 1999.** Crab predation, waterborne cues, and inducible defenses in the blue mussel, *Mytilus edulis*. *Ecology*. 1999, 80.1, stránky 1-14.
- Leyva-Valencia, Ignacio, a další. 2012.** Shell Shape Differences between Two *Panopea* Species and Phenotypic Variation Among *P. Globosa* at Different Sites using two Geometric Morphometrics Approaches. *Malacologia*. 2012, 55.1, stránky 1-13.
- Lopes-Lima, Manuel, a další. 2014.** Biology and conservation of freshwater bivalves: past, present and future perspectives. *Hydrobiologia*. 2014, 735.1, stránky 1-13.
- Lydeard, Charles, a další. 2004.** The global decline of nonmarine mollusks. *BioScience*. 2004, 54.4, stránky 321-330.

Madsen, Henrik a Thyregod, Poul. 2010. *Introduction to general and generalized linear models*. místo neznámé : CRC Press, 2010. ISBN 978-1-4200-9155-7.

Mann, K. H. 1965. Heated effluents and their effects on the invertebrate fauna of rivers. *Proceedings of the Society for Water Treatment and Examiners*. 1965, 14, stránky 45-53.

Márquez, Federico a Van Der Molen, Silvina. 2011. Intraspecific shell-shape variation in the razor clam *Ensis macha* along the Patagonian coast. *Journal of Molluscan Studies*. 2011, 77.2, stránky 123-128.

Melatunan, Sedercor, a další. 2013. Effects of ocean acidification and elevated temperature on shell plasticity and its energetic basis in an intertidal gastropod. *Marine Ecology Progress Series*. 2013, 472, stránky 155-168.

Minton, Russell L., Norwood, Andrew P. a Hayes, David M. 2008. Quantifying phenotypic gradients in freshwater snails: a case study in Lithasia (Gastropoda: Pleuroceridae). *Hydrobiologia*. 2008, 605.1, stránky 173-182.

Monti, Laurence, Baylac, Michel a Lalanne-Cassou, Bernard. 2001. Elliptic Fourier analysis of the form of genitalia in two *Spodoptera* species and their hybrids (Lepidoptera: Noctuidae). *Biological Journal of the Linnean Society*. 2001, 72.3, stránky 391-400.

Moore, Jonathan W. 2006. Animal ecosystem engineers in streams. *BioScience*. 2006, 56.3, stránky 237-246.

Morais, Pedro, a další. 2013. Assessing the morphological variability of *Unio delphinus* Spengler, 1783 (Bivalvia: Unionidae) using geometric morphometry. *Journal of Molluscan Studies*. 2013, 80.1., stránky 17-23.

Morton, B. S. 1969. Studies on the biology of *Dreissena polymorpha* Pall. 4. habits, habitats, distribution and control. *Water Treatment and Examination*. 1969, 18, stránky 233-241.

Natura 2000. Evropsky významné lokality v České republice. *Druhy z přílohy II. velevrub tupý (Unio crassus)*. [Online] [Citace: 5. 10 2015.] http://www.nature.cz/natura2000-design3/web_druhy.php?cast=1805&akce=karta&id=4.

Negus, Christina L. 1966. A quantitative study of growth and production of unionid mussels in the River Thames at Reading. *The Journal of Animal Ecology*. 1966, stránky 513-532.

- Neustupa, Jiří. 2005.** Investigations on the genus *Phycopeltis* (Trentepohliaceae, Chlorophyta) from South-East Asia, including the description of two new species. *Cryptogamie-Algologie*. 2005, 26.3, stránky 229-242.
- Neves, R. J., Moyer, S. N. 1988.** Evaluation of techniques for age determination of freshwater mussels(Unionidae). *American Malacological Bulletin*. 1988, 6.2, stránky 179-188.
- Newell, Carter R. a Hidu, Herbert. 1982.** The effects of sediment type on growth rate and shell allometry in the soft shelled clam *Mya arenaria* L. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 1982, 65.3, stránky 285-295.
- Newell, R. I. E. 1989.** Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (North and Mid-Atlantic)--blue mussel. *u.s. Fish. wild. Servo Biol. Rep.* 1989, 82(11.102), 25pp.
- Olabarria, C. a Thurston, M. H. 2004.** Patterns of morphological variation of the deep-sea gastropod *Troschelia berniciensis* (King, 1846)(Buccinidae) from the northeastern Atlantic Ocean. *Journal of Molluscan Studies*. 2004, 70.1, stránky 59-66.
- Orlova, M. I., Panov, V. E. 2004.** Establishment of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* (Pallas), in the Neva Estuary (Gulf of Finland, Baltic Sea): distribution, population structure and possible impact on local unionid bivalves. *Biology of the Baltic Sea*. 2004, stránky 207-217.
- Ortmann, Arnold E. 1920.** Correlation of shape and station in fresh-water mussels (Naiades). *Proceedings of the American Philosophical Society*. 1920, stránky 269-312.
- Owada, Masato. 2015.** Functional phenotypic plasticity of the endolithic mytilid *Leiosolenus curtus* (Lischke, 1874)(Bivalvia: Mytilidae). *Molluscan Research*. 2015, 35.3., stránky 188-195.
- Palmer, A. Richard. 1990.** Effect of crab effluent and scent of damaged conspecifics on feeding, growth, and shell morphology of the Atlantic dogwhelk *Nucella lapillus* (L.). *Progress in Littorinid and Muricid Biology*. 1990, stránky 155-182.
- Pascoal, Sonia, a další. 2012.** Plastic and heritable components of phenotypic variation in *Nucella lapillus*: an assessment using reciprocal transplant and common garden experiments. *PloS one*. 2012.

- Pathy, Diane A. a Mackie, Gerald L. 1993.** Comparative shell morphology of *Dreissena polymorpha*, *Mytilopsis leucophaeata*, and the "quagga" mussel (Bivalvia: Dreissenidae) in North America. *Canadian Journal of Zoology*. 1993, 71.5, stránky 1012-1023.
- Peacock, Evan a Seltzer, Jenifer L. 2008.** A comparison of multiple proxy data sets for paleoenvironmental conditions as derived from freshwater bivalve (Unionid) shell. *Journal of Archaeological Science*. 2008, 35.9, stránky 2557-2565.
- Pechenik, J. A. 1987.** Environmental influences' on larval survival and development. *Reproduction of Marine Invertebrates*. 1987, 9, stránky 551-608.
- Pérez-Quintero, Juan Carlos. 2007.** Diversity, habitat use and conservation of freshwater molluscs in the lower Guadiana River basin (SW Iberian Peninsula). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 2007, 17.5, stránky 485-501.
- Pigliucci, Massimo. 2001.** *Phenotypic plasticity: beyond nature and nurture*. místo neznámé : JHU Press, 2001.
- Pigliucci, Massimo, Murren, C. J. a Schlichting, C. D. 2006.** Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation. *Journal of Experimental Biology*. 2006, 209.12, stránky 2362-2367.
- Preston, S. J., a další. 2010.** Square pegs in round holes—the implications of shell shape variation on the translocation of adult *Margaritifera margaritifera* (L.). *Aquatic Conservation: Marine and freshwater ecosystems*. 2010, 20.5, stránky 568-573.
- Rajaei, Farahmand M., a další. 2015.** Sympatric morphological and genetic differentiation of the pearl oyster *Pinctada radiata* (Bivalvia: Pterioidea) in the northern Persian Gulf. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 2015, 95.03, stránky 537-543.
- Rajaei, Moein, a další. 2014.** Interpopulation differences in shell forms of the pearl oyster, *Pinctada imbricata radiata* (Bivalvia: Pterioidea), in the northern Persian Gulf inferred from principal component analysis and elliptic Fourier analysis. *Turkish Journal of Zoology*. 2014, 38.1, stránky 42-48.
- Ramajo, Laura et al. 2013.** Geographical variation in shell morphology of juvenile snails (*Concholepas concholepas*) along the physical–chemical gradient of the Chilean coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 2013, 93.08, stránky 2167-2176.

Réaumur, R. A. 1716. “Eclaircissemens de quelques difficultés sur la formation et l’accroissement des coquilles,” in *Histoire del’Académie Royale des Sciences Avec les Mémoires de Mathématique et Physique*. 1716, stránky 384-394.

Reimer, Olof a Tedengren, Michael. 1997. Predator-induced changes in byssal attachment, aggregation and migration in the blue mussel, *Mytilus edulis*. *Marine & Freshwater Behaviour & Phy.* 1997, 30.4, stránky 251-266.

Reitz, E. J., Quitmyer, I. R., Hale, H. S., Scudder, S. J., Wing, E. S. 1987. Application of allometry to zooarchaeology. *American Antiquity*. 1987, stránky 304-317.

Richter, Brian D., a další. 1997. Threats to imperiled freshwater fauna. *Conservation Biology*. 1997, stránky 1081-1093.

Richtsmeier, Joan T., Burke Deleon, Valerie a Lele, Subhash R. 2002. The promise of geometric morphometrics. *American journal of physical anthropology*. 2002, 119.S35, stránky 63-91.

Roberts, Andrew D. a Barnhart, Christopher M. 1999. Christopher. Effects of temperature, pH, and CO₂ on transformation of the glochidia of *Anodonta suborbiculata* on fish hosts and in vitro. *Journal of the North American Benthological Society*. 1999, stránky 477-487.

Rohlf, James F. a Marcus, Leslie F. 1993. A revolution morphometrics. *Trends in Ecology & Evolution*. 1993, 8.4, stránky 129-132.

Rosenberg, Gary. 2000. Ecophenotypic Variation in Mollusks. *American Conchologist*. 2000, 28.2.

Seed, R. 1973. Absolute and allometric growth in the mussel *Mytilus edulis* L. (Mollusca, Bivalvia). 1973.

Seed, R. 1968. Factors influencing shell shape in the mussel *Mytilus edulis*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 1968, 48.03, stránky 561-584.

Sepúlveda, Roger D., Jara, Carlos G. a Gallardo, Carlos S. 2012. Morphological analysis of two sympatric ecotypes and predator-induced phenotypic plasticity in *Acanthina monodon* (Gastropoda: Muricidae). *Journal of Molluscan Studies*. 2012, 78.2, stránky 173-178.

- Scholz, Henning a Hartman, Joseph H. 2007.** Fourier analysis and the extinction of unionoid bivalves near the Cretaceous–Tertiary boundary of the Western Interior, USA: Pattern, causes, and ecological significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007, 255.1, stránky 48-63.
- Scholz, Henning. 2013.** Disparity pattern of unionoid bivalves from Lake Malawi (East-Africa): a case study for adaptive strategies to heterogeneous environment. *Zoosystematics and Evolution*. 2013, 89.2, stránky 215-225.
- Sousa, Ronaldo, a další. 2007.** Genetic and shell morphological variability of the invasive bivalve *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in two Portuguese estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2007, 74.1, stránky 166-174.
- Stemberger, Richard S. a Gilbert, John J. 1987.** Multiple-species induction of morphological defenses in the rotifer *Keratella testudo*. *Ecology*. 1987, stránky 370-378.
- Taeubert, Jens-Eike, Gum, Bernhard a Geist, Juergen. 2012.** Host-specificity of the endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*, Philipsson 1788) and implications for conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 2012, 22.1, stránky 36-46.
- Teusch, Kristin P., Jones, D. S. a Allmon, W. D. 2002.** Morphological variation in turritellid gastropods from the pleistocene to recent of Chile: association with upwelling intensity. *Palaios*. 2002, 17.4, stránky 366-377.
- Thayer, Charles W. 1975.** Morphologic adaptations of benthic invertebrates to soft substrata. *Journal of Marine Research*. 1975, 33.2, stránky 177-189.
- Tracey, Sean R., Jeremy, M. Lyle, Duhamel, Guy. 2006.** Application of elliptical Fourier analysis of otolith form as a tool for stock identification. *Fisheries Research*. 2006, 77.2, stránky 138-147.
- Trussell, Geoffrey C. 2002.** Evidence of countergradient variation in the growth of an intertidal snail in response to water velocity. *Marine Ecology Progress Series*. 2002, 243, stránky 123-131.
- Vaughn, Caryn. 2015** Ecosystem services provided by freshwater, 2 nd International Meeting on Biology and Conservation of Freshwater Bivalves: *Book of Abstract..* Buffalo : Great Lakes Center, SUNY Buffalo State, 2015.

Via, Sara, a další. 1995. Adaptive phenotypic plasticity: consensus and controversy.

Trends in Ecology & Evolution. 1995, 10.5, stránky 212-217.

Walford, Lionel A. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals.

Biological Bulletin. 1946, stránky 141-147.

Watanabe, Satoshi a Katayama, Satoshi. 2010. Relationships among shell shape, shell growth rate, and nutritional condition in the manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in Japan.

Journal of Shellfish Research. 2010, 29.2, stránky 353-359.

Wilcove, David S. a Master, Lawrence L. 2005. How many endangered species are there in the United States? *Frontiers in Ecology and the Environment.* 8. 3 2005, stránky 414-420.

www.mapy.cz. [Online] [Citace: 20. 9 2015.] www.mapy.cz.

Mathworks1 Generalized linear model. [Online] [Citace: 18. 10 2015.]

<http://www.mathworks.com/help/stats/glmfit.html>.

Mathworks2. Multiple comparison test. [Online] [Citace: 20. 10 2015.]

<http://www.mathworks.com/help/stats/multcompare.html>.

Yeager, Bruce L. a Saylor, Charles F. 1995. Fish hosts for four species of freshwater mussels (Pelecypoda: Unionidae) in the upper Tennessee River drainage. *American Midland Naturalist.* 1995, stránky 1-6.

Yoshioka, Yosuke, a další. 2004. Analysis of petal shape variation of *Primula sieboldii* by elliptic Fourier descriptors and principal component analysis. *Annals of Botany.* 2004, 94.5, stránky 657-664.

Zelditch, Miriam Leah, Lundrigan, Barbara L. a Garland, Theodore. 2004.

Developmental regulation of skull morphology. I. Ontogenetic dynamics of variance. *Evolution & development.* 2004, 6.3, stránky 194-206.

Zettler, Michael L. a Jueg, Uwe. 2007. The situation of the freshwater mussel *Unio crassus* (Philipsson, 1788) in north-east Germany and its monitoring in terms of the EC Habitats Directive. *Mollusca.* 2007, 25.2, stránky 165-174.

Zieritz, A., a další. 2010. Phenotypic plasticity and genetic isolation-by-distance in the freshwater mussel *Unio pictorum* (Mollusca: Unionoida). *Evolutionary Ecology.* 2010, 24.4., stránky 923-938.

Zieritz, Alexandra a Aldridge, David C. 2009. Identification of ecophenotypic trends within three European freshwater mussel species (Bivalvia: Unionoida) using traditional and modern morphometric techniques. *Biological Journal of the Linnean Society*. 2009, 98.4., stránky 814-825.

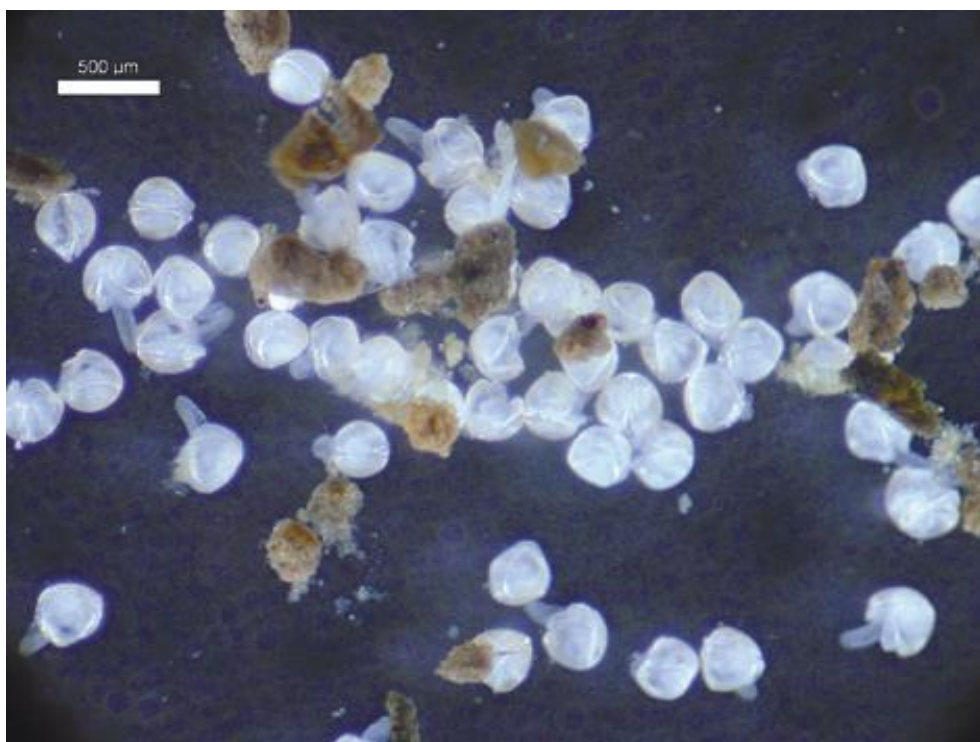
Zieritz, Alexandra a Aldridge, David C. 2011. Sexual, habitat-constrained and parasite-induced dimorphism in the shell of a freshwater mussel (*Anodonta anatina*, Unionidae). *Journal of morphology*. 2011, 272.11, stránky 1365-1375.

Zieritz, Alexandra, a další. 2012. Shell ecophenotype in the blue mussel (*Mytilus edulis*) determines the spatial pattern in foraging behaviour of an oystercatcher (*Haematopus ostralegus*) population. *Marine biology*. 2012, 159.4, stránky 863-872.

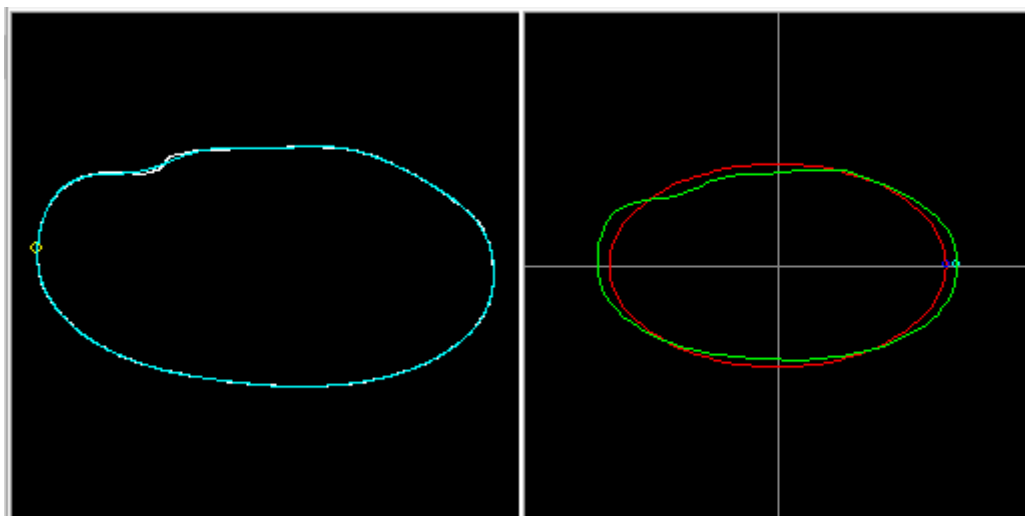
Zimmerman, Gregory F. a De Szalay, Ferenc A. 2007. Influence of unionid mussels (Mollusca: Unionidae) on sediment stability; an artificial stream study. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*. 2007, 168.4, stránky 299-306.

10 Přílohy

Příloha 1: Fotografie dospělých jedinců a juvenilních jedinců druhu *Unio crassus*. Autor Karel Douša.



Příloha 2: Obrázek prezentující proces standardizace na rotaci a počáteční bod elipsy. Červená linie je první harmonická funkce. Bod kde se na pravé straně protíná vodorovná linie se zeleným obrysem lastury je počáteční bod elipsy. Levý obrázek znázorňuje míru vykreslení detailů obrysu při využití 10 harmonických funkcí (bílá linie patří originálnímu obrysu, modrá je vykreslený obrys pomocí 10 harmonických).



Příloha 3: Tabulka srovnání parametrů prostředí na všech lokalitách

lokalita	popis hodnoty	BSK5 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Pcelk (mg/l)	konduktivita mS/l	pH	teplota (°C)	Nadmořská výška (m)
LUK	minimum	1,3	1,4	0,03	47,18	7,58	3,1	550
	průměr	2,53	2,64	0,12	62,42	8,1	9,5	
	medián	1,75	2,15	0,09	62,85	7,97	9,1	
	maximum	8,4	7,1	0,42	95,41	9,2	17,1	
OH	minimum	0,3	1,15	0,02	31,4	7,1	0	159
	průměr	2,09	2,77	0,11	45,91	7,72	10,4	
	medián	1,9	2,7	0,09	45	7,7	10	
	maximum	9,7	5	0,42	72,5	8,7	22,6	
SN	minimum	0,7	0,45	0,07	21,6	6,66	0	265
	průměr	4,25	5,91	0,26	37,18	7,94	10	
	medián	3,7	5,59	0,21	36,6	7,81	9,5	
	maximum	13,5	20	1,2	89,3	9,9	24,7	
OHRR	minimum	0,3	0,5	0,02	4,99	7,07	0	168
	průměr	2,2	2,67	0,1	45,17	7,7	10,4	
	medián	1,9	2,6	0,09	44,9	7,7	10,3	
	maximum	12,8	4,52	0,3	71,1	8,4	23,1	
BT	minimum	0,9	1,6	0,06	36	7,3	0	249
	průměr	3,39	5,65	0,23	75,79	7,95	10,2	
	medián	2,8	4,9	0,2	75,7	7,9	10,1	
	maximum	37	15,4	0,82	139,8	8,9	22,8	
BH	minimum	1	0,49	0,03	20,9	7,7	0	240
	průměr	1,68	1,83	0,09	35,16	8,1	9,3	
	medián	1,6	1,94	0,09	35,2	8,1	6,2	
	maximum	2,8	2,87	0,16	53,3	9,2	24,7	

BNH	minimum	0,5	1,1	0,05	18,2	8,12	4,1	376
	průměr	0,84	1,41	0,09	25,66	8,35	10,5	
	medián	0,71	1,42	0,06	23,3	8,31	11,1	
	maximum	1,75	1,8	0,18	36	8,8	18,3	
STR	minimum	1	0,1	0,028	21,6	7,6	0	221
	průměr	1,96	2,3	0,09	36,8	8,03	9,3	
	medián	1,7	2,24	0,084	37,75	8	6,5	
	maximum	6,6	5,4	0,184	55,9	8,7	25,5	
BL2	minimum	1,7	1,3	0,04	30,5	7,67	2,8	347
	průměr	2,69	4,55	0,09	33,33	8,12	10,9	
	medián	2,5	3,6	0,09	32,3	7,98	10,6	
	maximum	5,7	10	0,16	40	8,9	17,7	
BL1	minimum	1,5	0,2	0,06	26,6	7,28	3,4	400
	průměr	5,25	4,65	0,28	34,75	7,5	10,9	
	medián	4,75	3,6	0,24	34	7,48	8,8	
	maximum	15	11	0,87	42,9	7,85	20,5	
OS	minimum	1,5	0,02	0,08	19,4	7,5	0,1	250
	průměr	3,85	0,07	0,22	36,24	7,84	10,9	
	medián	3,6	0,06	0,22	39,5	7,8	10,5	
	maximum	9,3	0,2	0,48	50,5	8,33	21,7	
CH	minimum	0,9	0,78	0,07	51,47	7,3	0,6	290
	průměr	2,18	3,27	0,24	75,19	7,96	10	
	medián	1,85	2,95	0,2	77,64	7,94	10,2	
	maximum	6,2	8,1	0,59	102,25	8,6	19,4	

Příloha 4: Matice pravděpodobnostních hodnot (p value) dle výsledků multiple compare testů. Tabulky zobrazují párové porovnání lokalit

Tabulka pravděpodobností pro faktor délka												
	BH	BL1	BL2	BNH	BT	CH	LUK	OH	OHRR	OS	SN	STR
BH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL1	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL2	0,0	0,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BNH	0,0	0,0	0,9	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BT	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x
CH	1,0	0,0	0,0	0,0	0,2	x	x	x	x	x	x	x
LUK	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x
OH	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	x	x	x	x	x
OHRR	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	0,0	0,0	x	x	x	x
OS	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	1,0	0,0	x	x	x
SN	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,8	0,0	0,0	1,0	0,0	x	x
STR	1,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0	0,0	0,7	0,7	0,6	0,9	x

Tabulka pravděpodobností pro faktor výška												
	BH	BL1	BL2	BNH	BT	CH	LUK	OH	OHRR	OS	SN	STR
BH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL1	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL2	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BNH	0,0	0,0	0,9	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BT	0,6	0,1	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x
CH	1,0	0,0	0,0	0,0	0,3	x	x	x	x	x	x	x
LUK	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x
OH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x
OHRR	1,0	0,0	0,0	0,0	0,8	1,0	0,0	0,0	x	x	x	x
OS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	x	x	x
SN	1,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	x	x
STR	1,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	x

Tabulka pravděpodobností pro faktor plocha												
	BH	BL1	BL2	BNH	BT	CH	LUK	OH	OHRR	OS	SN	STR
BH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL1	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL2	0,0	0,3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BNH	0,0	0,0	1,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BT	0,1	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x
CH	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x	x
LUK	0,0	0,1	1,0	1,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x
OH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x
OHRR	1,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,0	0,0	0,0	x	x	x	x
OS	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,9	0,6	x	x	x
SN	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,8	0,0	0,0	1,0	0,1	x	x
STR	1,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,0	0,0	0,0	1,0	0,4	1,0	x

Tabulka pravděpodobností pro faktor délko-výškový poměr												
	BH	BL1	BL2	BNH	BT	CH	LUK	OH	OHRR	OS	SN	STR
BH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL1	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL2	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BNH	0,0	0,0	1,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BT	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x
CH	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	x	x	x	x	x	x	x
LUK	0,0	0,5	0,8	0,9	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x
OH	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x
OHRR	0,0	0,6	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,6	x	x	x	x
OS	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,2	1,0	0,8	x	x	x
SN	0,0	0,2	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	x	x
STR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x

Tabulka pravděpodobností pro PC1												
	BH	BL1	BL2	BNH	BT	CH	LUK	OH	OHRR	OS	SN	STR
BH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL1	1,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL2	1,0	1,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BNH	0,9	1,0	1,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BT	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x
CH	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	x	x	x	x	x	x	x
LUK	1,0	1,0	1,0	0,9	0,0	1,0	x	x	x	x	x	x
OH	0,0	0,0	0,1	0,7	0,5	0,0	0,0	x	x	x	x	x
OHRR	0,9	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	0,8	1,0	x	x	x	x
OS	0,4	0,6	0,8	1,0	0,2	0,9	0,2	1,0	1,0	x	x	x
SN	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,1	1,0	0,8	x	x
STR	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	0,0	0,0	1,0	0,7	0,9	0,0	x

Tabulka pravděpodobností pro PC2												
	BH	BL1	BL2	BNH	BT	CH	LUK	OH	OHRR	OS	SN	STR
BH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL1	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL2	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BNH	0,9	0,4	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BT	0,0	0,0	0,8	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x
CH	0,2	0,0	0,2	0,0	1,0	x	x	x	x	x	x	x
LUK	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x
OH	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,6	0,0	x	x	x	x	x
OHRR	0,7	0,9	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x
OS	0,0	0,0	1,0	0,0	0,9	0,4	0,6	1,0	0,0	x	x	x
SN	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2	0,0	0,8	x	x
STR	1,0	0,0	0,0	0,9	0,2	0,6	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	x

Tabulka pravděpodobností pro PC3												
	BH	BL1	BL2	BNH	BT	CH	LUK	OH	OHRR	OS	SN	STR
BH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL1	1,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL2	1,0	1,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BNH	0,0	0,1	0,2	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BT	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x
CH	1,0	1,0	1,0	0,1	0,0	x	x	x	x	x	x	x
LUK	0,1	0,2	0,3	1,0	0,0	0,1	x	x	x	x	x	x
OH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	x	x	x	x	x
OHRR	0,0	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	x	x	x	x
OS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x
SN	1,0	1,0	1,0	0,2	0,0	1,0	0,4	0,0	0,1	0,0	x	x
STR	1,0	1,0	0,6	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6	0,8	0,0	0,9	x

Tabulka pravděpodobností pro PC1 3 rok												
	BH	BL1	BL2	BNH	BT	CH	LUK	OH	OHRR	OS	SN	STR
BH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL1	1,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL2	1,0	0,9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BNH	1,0	1,0	1,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BT	0,1	1,0	0,1	0,2	x	x	x	x	x	x	x	x
CH	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	x	x	x	x	x	x	x
LUK	1,0	0,7	1,0	1,0	0,0	0,8	x	x	x	x	x	x
OH	1,0	0,8	1,0	1,0	0,0	0,9	1,0	x	x	x	x	x
OHRR	0,2	1,0	0,2	0,3	1,0	0,6	0,0	0,1	x	x	x	x
OS	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	x	x	x
SN	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	x	x
STR	0,6	1,0	0,5	0,8	1,0	1,0	0,1	0,2	1,0	1,0	1,0	x

Tabulka pravděpodobností pro PC2 3 rok												
	BH	BL1	BL2	BNH	BT	CH	LUK	OH	OHRR	OS	SN	STR
BH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL1	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL2	0,9	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BNH	0,9	0,0	0,1	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BT	0,9	0,0	1,0	0,1	x	x	x	x	x	x	x	x
CH	0,9	0,0	1,0	0,1	1,0	x	x	x	x	x	x	x
LUK	0,2	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	x	x	x	x	x	x
OH	0,8	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	x	x	x	x	x
OHRR	1,0	0,0	0,7	1,0	0,7	0,7	0,1	0,5	x	x	x	x
OS	0,4	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2	x	x	x
SN	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,4	x	x
STR	1,0	0,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,3	0,9	1,0	0,5	0,0	x

Tabulka pravděpodobností pro PC3 3 rok												
	BH	BL1	BL2	BNH	BT	CH	LUK	OH	OHRR	OS	SN	STR
BH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL1	1,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BL2	1,0	1,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BNH	0,7	0,9	0,6	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BT	0,0	0,2	0,0	0,0	x	x	x	x	x	x	x	x
CH	1,0	1,0	1,0	0,9	0,0	x	x	x	x	x	x	x
LUK	1,0	1,0	0,9	1,0	0,0	1,0	x	x	x	x	x	x
OH	1,0	1,0	1,0	0,7	0,0	1,0	1,0	x	x	x	x	x
OHRR	0,8	0,9	0,9	0,0	1,0	0,6	0,1	0,8	x	x	x	x
OS	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,4	x	x	x
SN	1,0	1,0	1,0	0,5	0,6	1,0	0,8	1,0	1,0	0,1	x	x
STR	1,0	1,0	1,0	0,3	0,1	1,0	0,7	1,0	1,0	0,0	1,0	x